omega WIEDZA POWSZECHNA

Marek Hołyński

SZTUCZNA INTELIGENCJA



Dr inż. Marek Hołyński (ur. w 1947 r.) jest kierownikiem Samodzielnej Pracowni Rozwoju Technik Komputerowych w Instytucie Maszyn Matematycznych w Warszawie. Zajmuje się także popularyzacją zagadnień na, którymi pracuje, oraz publicystyką (współpracuje głównie z tygodnikiem „Polityka" i z miesięcznikiem „Informatyka"). W 1976 r. ukazała się w serii „Omega" jego książka pt. *Sztuka i komputery*, poświęcona udziałowi maszyn cyfrowych w różnych działach twórczości artystycznej.

„Nie sądziłem, że stworzenie sztucznej inteligencji będzie kiedykolwiek możliwe i że ludzie na serio zabiorą się do pracy w tej dziedzinie jeszcze za mojego życia. Uważałem się za odległego od rzeczywistości marzyciela, wymyślającego rozmaite bajki, żeby zarobić na chleb. Teraz jestem tak zdumiony, jak może być zdziwiony oszust, którego kłamstwa niespodziewanie się sprawdziły" — pisał niedawno jeden z autorów powieści fantastyczno-naukowych. Czy inteligentne maszyny są dziś rzeczywiście faktem dokonanym? A jeśli tak, to jaki jest zakres ich działania i stopień użyteczności dla człowieka? Te właśnie sprawy omawia książka pt. *Sztuczna inteligencja*.

Sekretarzowi Generalnemu,
od skromnego autora
Marek Hołyński

346

BIBLIOTEKA WIEDZY WSPÓŁCZESNEJ

OMEGA

pod patronatem
POLSKIEJ AKADEMII NAUK

Marek Hołyński

SZTUCZNA INTELIGENCJA

Wiedza Powszechna
Warszawa 1979

Okładka i strona tytułowa

Józef Cz. Bieniek

Ilustracja na okładce

Ksawery Piwocki

Printed in Poland

Publikacja wydana z pomocą finansową PAN

Redaktor: *Halina Myślicka*

Redaktor techniczny: *Barbara Parczewska-Maciejczyk*
Korektor: *Jerzy Lass*

Wydanie I. Nakład 10 000+300 egz.
Ark. wyd. 8,6. Ark. druk. 12,75
Papier druk. sat., kl. IV, 70 g, 80×100
Oddano do składania w lutym 1979 r.
Druk ukończono w sierpniu 1979 r.
Cena zł 20,—
ZGK. Zakład Nr 5 w Bytomiu. Zam. 45 — C-54

ISBN 83-214-0086-8

1 INTELEKT W PUDEŁKU

„Sztuczna inteligencja" — dosłowne tłumaczenie angielskiego *Artificial Intelligence* (AI) — to określenie, które narodziło się w literaturze fantastycznej, od lat z górą dziesięciu stało się pełnoprawnym terminem naukowym, a od niedawna zaczęło wreszcie wyrażać coś konkretnego, nie zaś, jak przedtem, jedynie abstrakcyjną zawartość metalowych puszek symbolizujących głowy robotów, zdobywców odległych planet.

Pojawiło się ono mniej więcej w latach dwudziestych naszego wieku wraz z opowiadaniami o samolotach, które zaczynają porozumiewać się z sobą w hangarach i same wzbijają się w powietrze, przejmując zwyczaje wędrownych ptaków, z opowieściami o pustych pociągach jadących w sobie tylko znanym kierunku, o sieciach telefonicznych, które kojarzą samowolnie rozmówców i w ten sposób kierują ich losami.

Ale dopiero pierwsze komputery ruszyły lawinę. Dotychczas łatwo było sobie wyobrazić, że mechaniczne urządzenia mogą zastąpić poszczególne części naszego ciała, a nawet niektóre narządy (np. sieć telefoniczną przyrównywano do systemu nerwowego). Brako-

wało jednak czegoś, co nadawałoby się do pełnienia funkcji mózgu, do uzupełnienia bezmyślnej maszynerii zdolnością wyboru jednego z wielu możliwych rozwiązań, podejmowania decyzji, pamiętania, samodzielnego myślenia.

Maszyny cyfrowe nazwano więc w gazetach „mózgami elektronowymi", a powieści *science-fiction* zaczęły ukazywać, jak gwałtowny rozwój technokratycznej cywilizacji pozwoli zastąpić ludzi przez maszyny w zadaniach coraz trudniejszych. Zdolne do rozwiązywania bardziej skomplikowanych problemów, komputery stają się w tych wyobrażeniach narzędziem niezastąpionym. Dążąc do uproszczenia sobie życia, człowiek posuwa się dalej i dalej, decydując się w końcu na krok fatalny w skutkach. Obdarza maszyny inteligencją. Genialni konstruktorzy budują wreszcie urządzenia, które mogą się reprodukować i organizować własną działalność...

Teraz — zgodnie z tą wizją — ludzkość może odpocząć. Nastaje z dawna upragniony wiek lenistwa. Nad wszystkim, począwszy od gotowania jajek na twardo, aż po podbój Kosmosu, czuwają mądre roboty. Żywią i bronią, ubierają i dostarczają rozrywek. Tu idylliczny obraz mąci się szybko: komputery — zdolne do rozmnażania się, wyposażone w świadomość swojego istnienia, posiadające pełną kontrolę nad światem — stają się jego panami. Tolerują przez pewien czas ludzi, lecz później zabierają się do ich planowego wyniszczenia jako słabych, niedoskonałych konstrukcji.

Jakkolwiek wobec twórczości *science-fiction* należy zachować rozsądny dystans, nietaktem byłoby zapomnieć o jej udziale w inicjowaniu badań nad sztuczną inteligencją. Rozniecone go przez literatów poczucia niepewności nie mogli się pozbyć nawet fachowcy. W końcu, zamiast zbywać pobłażliwym uśmiechem wizje na te-

mat prawdziwego „mózgu matematycznego", sami zaczęli rozważać możliwość istnienia takiej ewentualności — jeśli nie w praktyce, to przynajmniej w teorii.

Konieczność rozwiania wszelkich obaw co do agresji ze strony sztucznej inteligencji skłoniła zapewne znanego autora książek fantastyczno-naukowych I. Asimova do ustanowienia tzw. trzech praw robotyki:

1. Robot nie może być niebezpieczny dla człowieka.
2. Robot musi być zawsze posłuszny człowiekowi, chyba że jest to sprzeczne z pierwszym prawem.
3. Robot musi unikać niebezpieczeństwa, chyba że jest to sprzeczne z dwoma poprzednimi prawami.

Z perspektywy dnia dzisiejszego można dostrzec, że rysą, która spowodowała pęknięcie tamy chroniącej naukę przed zalewem publikacji na temat sztucznej inteligencji, był opublikowany w 1950 r. artykuł *Computing Machinery and Intelligence* (Maszyny liczące i inteligencja). Błyskotliwy, gęsty od argumentów, porywający czytelnika. Napisał go angielski matematyk i logik Alan M. Turing, a swoje tezy zawarł w ryzykownej na owe czasy prognozie: „Maszyny będą współzawodniczyć z ludźmi we wszystkich czysto intelektualnych dziedzinach".[1] Turing przedstawił obraz sytuacji, lojalnie nie pomijając zastrzeżeń swoich przeciwników, ale bez trudu wykazując ich niezasadność. Wciąż jednak były to papierowe rozważania, z czego zresztą Turing doskonale zdawał sobie sprawę: "Nie mogę poprzeć swoich poglądów zbyt przekonującymi pozyty-

---

[1] A. M. Turing, *Maszyny liczące i inteligencja*, [w:] *Maszyny matematyczne i myślenie*, pod red. E. A. Feigenbauma i J. Feldmana, PWN, Warszawa 1972.

wnymi faktami. Gdybym miał takie fakty, nie zadawałbym sobie tyle trudu, aby wykazać fałszywość rozumowania poglądów przeciwnych". [1]

„Pozytywne fakty" zaczęły się pojawiać w pięć lat później, wkrótce po przedwczesnej śmierci Turinga. Mimo że cytowany artykuł zdopingował natychmiast wielu badaczy (m.in. A. G. Oettingera z Uniwersytetu w Cambridge do doświadczeń nad zapamiętywaniem i zapominaniem liczb przez komputer EDSAC), to dopiero połowa lat pięćdziesiątych przyniosła konkretne wyniki. Osiągnięto je prowadząc równolegle kilka eksperymentów. Zapoczątkowało to rozwój kilku odrębnych tematów naukowych połączonych później pod wspólną nazwą sztucznej inteligencji.

W roku 1956 pojawił się pierwszy komputerowy program gry w szachy oraz program umożliwiający maszynie cyfrowej dowodzenie twierdzeń logiki matematycznej. Zaczęto też tworzyć programy do gry w warcaby i dowodzenia twierdzeń geometrycznych. Stopniowo ujawniano wstępne rezultaty badań nad cybernetycznymi modelami ludzkiego umysłu, sieci nerwowej oraz nad urządzeniami do zdobywania wiadomości i rozpoznawania obrazów. Choć pracom tym nie można było odmówić oryginalności pomysłów i śmiałości koncepcji, to wiele z nich (w naszym obecnym odczuciu) grzeszy naiwnością i zbytnią przewagą fantazji nad zdrowym rozsądkiem. To chyba było powodem rezerwy, z jaką uznane autorytety naukowe potraktowały nowo powstałą dziedzinę. Znaczny wyłom w tym nastawieniu zdołała jednak uczynić książka *Komputer i mózg* znakomitego amerykańskiego matematyka, Węgra z pochodzenia, Johna von Neumanna, która

---

[1] Tamże.

nadała problemowi niejako naukową nobilitację.[1]

Skłoniło to eksperymentatorów do poszukiwania rozwiązań jeszcze bardziej ogólnych. „Mając wystarczającą informację o danym człowieku, można by napisać program opisujący w symboliczny sposób jego zachowanie" — pisali A. Newell i H. A. Simon.[2] Szybko zresztą wraz z J. C. Shawem postarali się o urzeczywistnienie tej idei symulując na komputerze zachowanie człowieka, który rozwiązuje problemy. Ich General Problem Solver (można to rozmaicie tłumaczyć: rozwiązywacz problemu ogólnego, a może raczej ogólny rozwiązywacz problemów lub uniwersalny rozwiązywacz zadań) — program, który „symuluje ludzką myśl" — nadawał się do wielu zastosowań: od trygonometrii po bilansowanie taśmy produkcyjnej w zakładach przemysłowych (ustalanie kolejności operacji technologicznych, rozliczanie materiałów itp.).

Następne dziesięciolecie pozwoliło ideom okrzepnąć, a wielu szczegółowym pomysłom dojrzeć do konkretnej realizacji. Badania nad sztuczną inteligencją uznano za jeden z ważniejszych kierunków rozwoju nauki i przeznaczono na nie znaczne fundusze. Spodziewano się zresztą wymiernych korzyści — wystarczyło, żeby choć niewielki procent oczekiwanych odkryć można było zastosować w wojsku i programie badań kosmicznych, a już zysk byłby znaczny.

Rok 1961 przynosi fundamentalne opracowanie przeglądowe autorstwa profesora z M.I.T.

---

[1] J. von Neumann *The Computer and the Brain*, Yale University Press, New Haven 1958.

[2] A. Newell. H. A. Simon, *The Simulation of Human Thought*, [w:] *Current Trends in Psyhological Theory*, The University of Pittsburgh Press, Pittsburgh 1961.

(Massachusetts Institute of Technology), Marvina Minsky'ego, który w analizie ludzkiego zachowania wykorzystał elementy swojego poprzedniego przedmiotu zainteresowań: teorii automatów skończonych. Minsky opublikował wcześniej kilka szczegółowych opracowań, tym razem pokusił się, z powodzeniem, o przedstawienie w szkicu *Steps Toward Artificial Intelligence*[1] (Ku stworzeniu sztucznej inteligencji) pięciu głównych jego zdaniem kierunków rozwoju badań w omawianej dziedzinie; było to: poszukiwanie, rozpoznawanie obrazów, uczenie się, planowanie oraz indukcja. „Wierzę — pisał we wstępie — że znajdujemy się na progu epoki, w której zaznaczy się silny, a może nawet dominujący wpływ inteligentnych maszyn zdolnych do rozwiązywania problemów". Minsky, aby ułatwić sobie studia nad tematem, sporządził wykaz materiałów źródłowych, który przy okazji opublikował. Bibliografia ta liczyła prawie osiemset pozycji, czyli prawie wszystko, co ukazało się do tamtej pory na świecie. Jak bowiem obliczył Alan Ross Anderson we wstępie do wydanej w 1964 r. książki *Minds and Machines* (umysły — albo — myśli i maszyny), ogólną liczbę publikacji w piętnastoleciu 1950—1964 należy oceniać na około tysiąc pozycji. Bibliografia Minsky'ego miała ponadto skorowidz tematyczny, klasyfikacje uzupełniające, wykaz zebrań, sprawozdań i sympozjów. Niewielu uczonych stać obecnie na tak solidne metodyczne zgłębianie przedmiotu, jak wspomniana bibliografia, stąd prawie wszyscy powoływali się długo na Minsky'ego.

Cytuje go oczywiście antologia *Maszyny matematyczne i myślenie*[2], wydana w 1963 r.

---

[1] Specjalne wydanie „Proceedings of the IRE", 1961.

[2] E. A. Feigenbaum. J. Feldman. *Computers and Thougt*, Mc Graw-Hill, New York—San Francisco—

pod redakcją Edwarda Feigenbauma i Juliana Feldmana — dość wierna fotografia ówczesnego stanu prac. Obaj redaktorzy (sami zresztą czynnie zaangażowani w badania nad sztuczną inteligencją) zebrali najważniejsze ogłoszone dotychczas opracowania i opublikowali z własną klasyfikacją i komentarzem. Powstał z tego tom prawie pięćsetstronicowy, dużego formatu. Dzieło, które ukazało się w polskim tłumaczeniu dopiero po blisko dziesięciu latach. Szkoda, że tak późno, bo dopiero po jej wydaniu okazało się, że wiele prac uważanych u nas za pionierskie wcale takimi nie były, a prócz tego książka demonstruje, jak mało — jeśli chodzi o koncepcje — zmieniło się od tamtych czasów. Przybyły co prawda nowe realizacje, rozwinięto i wzbogacono ówczesne pomysły, ale nakreślone w latach pięćdziesiątych dążenia pozostały w ogólnym zarysie aktualne.

Sztuczna inteligencja „spoważniała" bardzo szybko. Jej pionierzy awansowali na klasyków, pojawiły się monografie w sztywnej oprawie i „garniturowe" konferencje. Pierwsza odbyła się w Waszyngtonie w 1969 r.; następne organizowano regularnie co dwa lata. Przedostatnia miała miejsce w Tbilisi, a ostatnia w Stanach Zjednoczonych w 1977 r. — co świadczy, że zainteresowanie tym problemem jest ogólnoświatowe. Mowa oczywiście o konferencjach najważniejszych, które ogólnym hasłem „sztuczna inteligencja" obejmują wszystko, co ma z tym jakikolwiek związek. Ponadto organizuje się dziesiątki mniejszych konferencji poświęconych bardziej szczegółowym zagadnieniom. Na rynku czytelniczym zaroiło się od książek popularnonaukowych, nie zawsze, niestety, wysokiego lotu. Nawiasem mówiąc za

---

—London—Toronto—Sydney [w polskim przekładzie:] *Maszyny matematyczne i myślenie*, cyt. wyd.

jedną z najlepszych pozycji tego typu uchodzi pionierska (rok 1953) praca *Mózg i maszyny*[1] Władysława Sluckina, Polaka mieszkającego na stale w Anglii.

Wśród renomowanych światowych imprez wyróżniają się dodatnio seminaria Annual Machine Intelligence Workshops, prowadzone od 1965 r. przez dr Donalda Michie i jego Experimental Programing Unit na uniwersytecie w Edynburgu; materiały poseminaryjne wydawane są bardzo starannie w postaci eleganckich woluminów, na doborowym papierze, w sztywnej oprawie.

Do przekazywania wiadomości o postępach badań i do ułatwiania kontaktów między naukowcami powołano międzynarodową radę d.s. sztucznej inteligencji (International Joint Council on Artificial Intelligence). Od wczesnych lat siedemdziesiątych ukazuje się międzynarodowe pismo „Artificial Intelligence" — każdy numer zawiera ponad sto stron. Wydawcą jest North-Holland Publishing Company w Amsterdamie, a patronem British Computer Society.

Głównym poligonem badawczym sztucznej inteligencji były (i są do dzisiaj) Stany Zjednoczone. Tam właśnie powstało najwięcej interesujących teorii i udanych realizacji. Doświadczenia nad sztuczną inteligencją prowadzone były w wielu amerykańskich ośrodkach akademickich, którym przewodziły Massachusetts Institute of Technology, Stanford University i Stanford Research Institute. Badania te podjął również przemysł (Rank Xerox, IBM).

Mocną światową pozycję mają także Japończycy, których ambicją jest, jak się wydaje,

---

[1] W. Sluckin; *Mózg i maszyny. Zarys cybernetyki*, Wiedza Powszechna, Warszawa 1957.

znalezienie ekonomicznie opłacalnych zastosowań sztucznej inteligencji. W Europie tradycyjnie dominowali Brytyjczycy — zwłaszcza ekipa uniwersytetu w Edynburgu, skąd zresztą wywodzi się czołówka popularyzatorów idei maszynowego intelektu. Prace w tej dziedzinie podjęły także: Szwecja, Francja (Paryż, Grenoble), Włochy (Piza, Mediolan), RFN (Karlsruhe).

W krajach socjalistycznych — na Węgrzech i w Czechosłowacji — wykonano wiele zaawansowanych eksperymentów dotyczących głównie robotyki. Do badań nad sztuczną inteligencją dużo wnieśli również naukowcy radzieccy. Chodzi tu nie tylko o znane osiągnięcia uzyskiwane przy programowaniu szachów, ale i o ciekawe doświadczenia oparte na metodach psychologicznych.

Pozycja sztucznej inteligencji wydawała się na początku lat siedemdziesiątych tak ugruntowana, że spowodowało to nawrócenie dotychczasowych niedowiarków. Co więcej, skłoniło do ujawnienia się i skruchy tych, którzy z racji profesjonalnych zobowiązań udawali tylko, że wierzą. Wśród skruszonych znalazł się również pisarz Isaac Asimov.

W ostatnich latach obserwujemy chyba pewien spadek zainteresowania tą problematyką (choć jej wyznawcy ostro takie opinie zwalczają i wskazują na rosnącą ilość edycji, na coraz grubsze tomy materiałów pokonferencyjnych). Wiąże się to chyba z przyhamowaniem wyścigu militarnego i kosmicznego, ale nie tylko. Przyczyniło się do tego również ogólne zniechęcenie, bo po działających na wyobraźnię zapowiedziach nie doczekano się konkretnych (w pojęciu ogółu) efektów, czyli urządzeń przydatnych w życiu codziennym.

Co gorsza, do worka z napisem „sztuczna inteligencja" zaczęto wrzucać wszystko, co

było pod ręką, czasami po to, by uzasadnić racjonalność nieprzekonywająco udokumentowanych badań. Usprawiedliwienie stanowił brak wśród zainteresowanych pełnej zgodności poglądów na temat obszaru zajmowanego przez sztuczną inteligencję, a nawet interpretacji samej nazwy. Encyklopedyczna definicja inteligencji jako: „swoistego zespołu zdolności umysłowych umożliwiających jednostce korzystanie z nabytej wiedzy oraz skuteczne zachowywanie się wobec nowych zadań i warunków życia" — dawałaby pewne oparcie, gdyby nie pociągała za sobą dyskusji nad kwestią „sztucznego umysłu" i „życia maszyn". W psychologii inteligencja jest pojęciem niejednolicie definiowanym, choć służącym głównie do określania poziomu ogólnej sprawności intelektualnej poszczególnych ludzi. Inteligencję utożsamiano z rozumną działalnością, zdolnością poznawania i wydawania opinii. Niemiecki psycholog William Stern (autor koncepcji ilorazu inteligencji) uważał, że jest ona umiejętnością przystosowywania się do nowych zadań i warunków życia. Tak określone przejawy inteligencji obserwuje się nawet u zwierząt. Inne definicje natomiast wiązały pojęcie inteligencji z możliwościami gromadzenia wiedzy. Do dziś nie udowodniono, czy inteligencja jest zbiorem równoprawnych cech dających w sumie efekt tzw. zachowania inteligentnego, czy też mamy do czynienia z jakąś dominującą i niepodzielną cechą. I nawet ci psycholodzy, którzy opowiadają się za pierwszym (wieloczynnikowym) rozwiązaniem, nie mogą dojść do porozumienia przy ustalaniu ilości i przy wyborze zdolności biorących udział w tworzeniu inteligencji. Już w latach dwudziestych naszego stulecia usiłowano sprecyzować zestaw cech i umiejętności, które by się na to pojęcie składały. Ale jak dotąd nie posunięto się zbytnio naprzód, mimo

że stosowano rozmaite testy i opracowywano ich wyniki za pomocą zaawansowanych metod matematycznych.

Rozważając kwestię inteligencji wspomina się często o zdolności do kierowania własnymi myślami, o ich krytycznej ocenie i o stosowaniu przez różne istoty żywe odmiennych metod działania zależnie od rodzaju zadań. Mówi się też o predyspozycji do analizy i uogólniania relacji zachodzących w otoczeniu. W niektórych bardziej szczegółowych, dotyczących głównie zachowania się przedstawicieli naszego gatunku, definicjach pojawiają się wzmianki o świadomości rozumianej jako możliwość sterowania własnym zachowaniem i pełna orientacja w tym, co dzieje się wokół i wewnątrz nas, jako najwyższy poziom rozwoju psychicznego, charakterystyczny dla człowieka.

Podniesienie poprzeczki do poziomu, którego z założenia nie da się przeskoczyć, wyklucza jakąkolwiek argumentację. Przyjęcie, że inteligencja jest przymiotem wyłącznie ludzkim, niezgłębionym i nadprzyrodzonym darem wyróżniającym nas spośród wszystkiego, co żywe i martwe, stawia tych, którzy szukają wyjaśnień, na pozycjach spalonych jeszcze przed rozpoczęciem meczu. Szansę położenia kresu tej dyskusji dałyby poszukiwania nowej, nie tak zobowiązującej nazwy, nadającej się do określenia dotychczasowych dokonań, i rezygnacja z zakorzenionego już, nie tylko w środowisku badaczy, terminu „sztuczna inteligencja". Dotyczy to np. lansowanego przez niektórych określenia „inteligencja maszynowa", co brzmi nie mniej kontrowersyjnie, a także proponowanych terminów „symulacja inteligencji" lub „preparowana inteligencja".

Można oczywiście spłaszczyć problem i umówić się że sztuczna inteligencja oznacza tworzenie maszyn, które potrafią myśleć. I ta

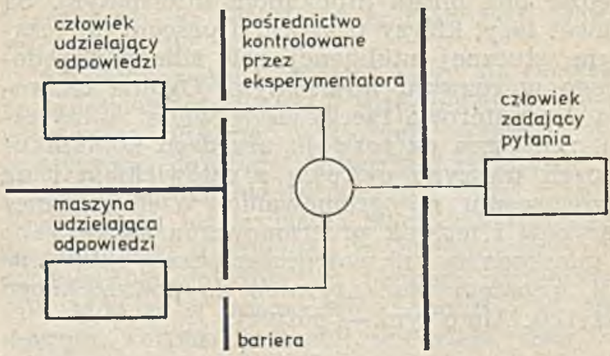
uproszczona definicja zachwieje się jednak, gdy zostaniemy zmuszeni do dokładnego sprecyzowania słów „maszyna" i „myślenie". Z „myśleniem" będą niemal takie same kłopoty jak z „inteligencją". „Maszyna" natomiast skojarzy się tradycyjnie z brzydkim hałaśliwym mechanizmem przeznaczonym do wykonywania paru niezbyt złożonych czynności, urządzeniem na tyle automatycznym w zachowaniu, że z natury rzeczy niezdolnym do myślenia. Jedyne, co wtedy pozostanie, to odwrócić uwagę dyskutantów jakimś związanym z tematem (choć niekoniecznie wyszukanym) dowcipem. Na przykład: „Maszyny istotnie nie myślą, są jak kobiety — kalkulują".

Chyba więc trzeba porzucić tego typu rozważania i na roboczo zgodzić się z definicjami proponowanymi przez samych twórców sztucznej inteligencji. Choćby z tą, którą przyjęli Feigenbaum i Feldman: „Budowanie takich programów dla maszyn cyfrowych, które zachowują się w sposób nazywany przez nas w odniesieniu do ludzkich istot «inteligentnym zachowaniem się»". [1] Tu już spory nomenklaturowe zawęziły się do grona czujących sprawę specjalistów. Z pewnością domagaliby się oni uzupełnień, np. wzmianki o sprzęcie lub układach komunikacji człowiek—maszyna, ale rozmowa przebiegałaby znacznie spokojniej.

Zawiłości terminologiczne odpadają, gdy definicja sztucznej inteligencji opiera się na wyniku jakiegoś prostego doświadczenia, na podstawach empirycznych. Tak właśnie swego czasu postąpił Alan Turing. Zamiast rozstrząsać w abstrakcyjnych kategoriach problem: „czy maszyny mogą myśleć?", uzależnił sprawę od wyniku testu nazwanego „grą w naśladownictwo". Pomysłem natchnęła go „sa-

[1] Cyt. wyd.

lonowa" zabawa towarzyska (bywał chyba na przyjęciach raczej w stylu „retro"), polegająca na zadawaniu pytań w celu określenia, która z dwu osób znajdujących się w sąsiednim pokoju jest mężczyzną, a która kobietą. Porozumiewanie się między pokojami zostaje powierzone osobie trzeciej, aby wygląd, brzmienie głosu czy charakter pisma nie zdradzały tożsamości uczestników. Pytania mogą być najrozmaitsze i adresowane do każdej z identyfikowanych osób w dowolnej kolejności. Po pewnym czasie zgadujący powinni wiedzieć, kto jest kim. Turing natomiast zaproponował zastąpić jedną z osób przez maszynę (rys. 1.). Jeśli po serii pytań grający nie zdołają odróżnić jej od człowieka, to będzie ją można uznać za istotnie „inteligentną".



1. Test Turinga doświadczalnie sprawdzający inteligencję maszyn

Wprawdzie i takie empiryczne rozwiązanie nasuwało wątpliwości. Bo i dlaczego mamy oceniać intelekt jedynie według jego zewnętrznych manifestacji? Ale jakże go inaczej oceniać — przecież ludzi, których poznajemy, uważamy za inteligentnych lub nie, zależnie od

tego, jak się zachowują. Istniała też grupa zagadnień, w których maszyna tak dalece przewyższała pojemność pamięci i szybkość reakcji przeciętnego człowieka, że zbyt łatwo się dekonspirowała. Należało więc dodawać jej zaprogramowane opóźnienia przy odpowiedziach dotyczących obliczeń matematycznych lub posunięć przy grze w szachy albo zmuszać ją do udawania, że nie potrafi dać sobie rady w przypadkach bardziej złożonych. Były to jednak sytuacje szczególne. W przypadku ogromnej większości pytań — przeciwnie — trzeba dużego wysiłku programistów, aby zapewnić jako tako sensowne odpowiedzi. Jedno jest pewne: do prowadzenia jakichkolwiek udanych eksperymentów w tej dziedzinie niezbędny jest komputer. I bez względu na to, jak zdefiniujemy pojęcie „sztucznej inteligencji", zawsze będzie ona bliska problemom informatyki. Są nawet tacy, którzy przypisują pracom dotyczącym sztucznej inteligencji rolę silnika napędowego w rozwoju informatyki. Ogólna technika komputerowa rzeczywiście wiele skorzystała, zwłaszcza na rozwoju urządzeń komunikujących maszynę cyfrową z człowiekiem i na wzbogaceniu oprogramowania. Wiele również języków i technik programowania sprawdzano i udoskonalano na poletku sztucznej inteligencji, a potem przekazywano do powszechnego użytku. Ale o tym — później.

*

* *

Eksperyment Turinga i jego hipotetyczna inteligentna maszyna to już dziś prehistoria. Współcześni badacze są w mniejszym stopniu idealistami, a bardziej pragmatykami. W prezentacji ogólnej jednak obowiązuje szacunek dla historii. Dlatego też następny rozdział poświęcony jest zagadnieniu, które kiedyś nie-

zwykle ekscytowało badaczy: maszyna cyfrowa jako partner w rozmaitych grach. Dziś nie przykłada się już takiego znaczenia do faktu, czy komputer wygra z człowiekiem w szachy, warcaby czy brydża. Wyjątek stanowi tu znakomita japońska gra *Go*, która zrobiła światową karierę. Zasady tej gry omawiam również w następnym rozdziale. Eksperymenty, tak licznie podejmowane niegdyś, przyczyniają się jednak pośrednio do najnowszych współczesnych osiągnięć i całkowite ich pominięcie wydaje się wręcz niemożliwe.

Z automatycznym rozwiązywaniem problemów i podejmowaniem decyzji — które omawia rozdział trzeci — rzecz przedstawia się inaczej. Tu trzeba dokładnie prześledzić drogę od prostych programów dowodzenia twierdzeń do bardzo skomplikowanych oprogramowań przeznaczonych do poszukiwania rozwiązań złożonych sytuacji.

Z podejmowaniem decyzji łączy się tematyka kolejnego rozdziału — rozpoznawanie obrazów; są to sytuacje, w których maszyna musi rozstrzygać, do czego najbardziej podobny jest obiekt przez nią identyfikowany. Przy sposobności należy też wyjaśnić jeden z kluczowych dla sztucznej inteligencji problemów, nazywany przez specjalistów „problemem reprezentacji". Mówiąc w uproszczeniu, chodzi o to, aby maszyna rozpoznająca stół, wiedziała, jakie ów przedmiot ma cechy dla niego typowe i poradziła sobie nawet wówczas, gdy stół ma np. trzy nogi i zwisa z sufitu.

Rozdział piąty daje przegląd zagadnień związanych z tematem: mózg ludzki a maszyna. Chodzi tam nie tylko o modele mózgu, lecz o rodzaje komputerowych pamięci oraz kwestię procesów uczenia się czy doznawania uczuć. Okazuje się bowiem, że są powody, by podać w wątpliwość twierdzenie La Mettrie'go sprzed

dwustu — przeszło — lat: „Człowiek jest tak złożoną maszyną, że niepodobna od razu utworzyć sobie o niej jasnej idei i, co za tym idzie, jej określić".[1] Julien Offray La Mettrie porównywał ciało ludzkie do zegara, bo nie znał mechanizmów doskonalszych, które mogłyby mu nasunąć inne refleksje.

Rozdział poprzedzający zakończenie dostarczy zapewne czytelnikom najwięcej atrakcji dzięki cytowanym bezpośrednim rozmowom człowieka z komputerem i maszyny z maszyną. Pozornie rozmowy te odznaczają się zdumiewającą naturalnością. Po zastanowieniu dostrzeżemy w nich wiele mankamentów wynikających z bogactwa naszego języka, który z trudem poddaje się rygorom programowania. Jest również w tym rozdziale nieco o samym programowaniu. Za mało, niestety. Większości zagadnień dotyczących sztucznej inteligencji nie sposób oddzielić od pracy nad tworzeniem programów, ale gdybyśmy chcieli wprowadzić zgodne z rzeczywistością proporcje, kwestia oprogramowania zajęłaby trzy czwarte tekstu, a takie nazbyt specjalistyczne rozwinięcie tematu nie odpowiadałoby charakterowi książki popularnonaukowej.

Tematyka ta została szerzej potraktowana na łamach miesięcznika „Informatyka", który od kwietnia 1978 r. prowadzi stały dział pt. Sztuczna inteligencja. Opublikowane w nim zostały również niektóre fragmenty niniejszej książki, ale w innym ujęciu, gdyż obszerniej, bardziej szczegółowo omawiają niektóre z tylko poruszonych tutaj problemów. Nawiasem mówiąc, pod auspicjami redakcji „Informatyki" odbyła się 24 maja 1978 r. pierwsza publiczna dyskusja poświęcona sztucznej inteligencji i okazało

---

[1] J. O. La Mettrie, *Człowiek i maszyna*, F. Hoesick, Warszawa 1925.

się, że w Polsce istnieje (choć w rozproszeniu) spora grupa osób zainteresowanych tym zagadnieniem.

Rozpoznawaniem i syntezą mowy zajmowały się zespoły badawcze z Uniwersytetu Warszawskiego, Instytutu Maszyn Matematycznych i Akademii Spraw Wewnętrznych. Zagadnienie rozpoznawania obrazów jest przedmiotem zainteresowania naukowców z Instytutu Bioinżynierii i Biocybernetyki, wiele ośrodków zajmuje się wykorzystaniem komputerów do podejmowania decyzji. Ciekawe wyniki przyniosły również eksperymenty nad porozumiewaniem się z maszynami cyfrowymi przy pomocy języka naturalnego przeprowadzone na Uniwersytecie Warszawskim i Akademii Górniczo-Hutniczej.

2 CO JEST GRANE?

We wczesnym okresie rozwoju badań nad sztuczną inteligencją naukowcom bardzo zależało na uzyskaniu efektownych i pobudzających wyobraźnię wyników, aby zainteresować nimi opinię publiczną, spowodować wzrost popularności nowej dyscypliny i tym samym zapewnić sobie odpowiednie nakłady na finansowanie dalszych badań. Z perspektywy dnia dzisiejszego może się np. wydawać rzeczą zaskakującą, ile trudu kosztowało tworzenie urządzeń mogących stać się partnerem człowieka w różnego rodzaju grach.

Celem tych z pozoru mało poważnych eksperymentów, nie było jednak wcale dostarczenie nam taniej rozrywki. Nie chodziło przecież o wykorzystanie komputerów w taki sposób, w jaki telewizor można adaptować do zabawy w elektroniczny tenis lub inną tego typu grę ekranową, które są atrakcją w lokalach gier automatycznych i dyskotek. Uczestnictwo w grze dawało bowiem maszynom najprostszą okazję do wykazania się działaniem mającym pewne cechy inteligentnego zachowania. Bezpośrednie współzawodnictwo z człowiekiem, a zwłaszcza zwycięstwo nad nim, stanowiłoby tu dowód bardzo przekonywający.

Wyglądało na to, że sprawa jest dość łatwa. Reguły popularnych gier są na ogół wystarczająco dobrze sformalizowane, by można je było przekazać maszynom w postaci ścisłych opisów matematycznych. Oczywiście większe pole do popisu miały komputery w grach kombinatorycznych, w których powodzenie zależy od logicznego myślenia, analizy sytuacji i wyboru najkorzystniejszego rozwiązania spośród wielu możliwych. Stosowanie maszyn cyfrowych do gier, polegających na szczęściu czy na zręczności w zbyt dużej mierze uzależniałoby wynik od losu (choć maszyna w losowaniu wykonywanym przez obiekt fizyczny mogłaby wyśledzić pewne zależności statystyczne) lub zdolności manualnych partnera i rokowało znacznie skromniejsze rezultaty. Nie mówiąc już o wykroczeniu przeciw ideom naukowym, jakiego dopuściłby się komputer grający w trzy karty lub totolotka.

Próby takie podjęto natomiast w tych grach karcianych, w których przypadek jest podporządkowany logice. W 1962 r. G. Kerli ułożył program gry w brydża, pozwalający maszynie osiągnąć poziom średniego amatora. Nieco lepsze rezultaty uzyskali w rok później T. N. Thiele, R. R. Lemke i K. S. Fu[1] — ich program nieco przewyższał umiejętności przeciętnego gracza. Polską próbę stworzenia programu do brydżowej licytacji zaprezentował w swojej pracy magisterskiej Krzysztof Moszczyński z Uniwersytetu Warszawskiego. Program napisany w języku Lisp i uruchomiony na komputerze CDC licytował, z dużym wyczuciem, niemal dorównując światowej czołówce graczy (4082 pkt. na 5000 możliwych w rozdaniach

---

[1] T. N. Thiele, R. R. Lemke, K. S. Fu, *A Digital Computer Card Playing Program*, „Behavioral Science", 1963, nr 8.

Marcel Peeter Challenge). Bliski powodzenia był D. A. Waterman[1], który w 1970 r. zaproponował oprogramowanie do brydża i pokera. (Choć był zdania, że maszyna cyfrowa potrafi wykorzystując swoje umiejętności „grać wystarczająco dobrze", przestrzegał jednak przed wyręczaniem się nią podczas gry o duże stawki.

O niebezpieczeństwach komputerowego hazardu przekonał się na własnej skórze matematyk z MIT prof. Edward Thorp, gdy w 1961 r. przedstawił program obliczania prawdopodobieństwa wygranej i określania optymalnej strategii. Referat Thorpa, wygłoszony na zebraniu towarzystwa matematycznego w Waszyngtonie, spotkał się z takim niedowierzaniem, że profesor postanowił doświadczalnie rozwiać wątpliwości swych oponentów. Odwiedził kilka domów gry w stanie Newada i stawiając czasami 40 przeciw 1, wygrał bez trudu parę tysięcy dolarów.

Po tym udanym eksperymencie Thorp znalazł natychmiast mecenasów gotowych wspierać jego dalsze badania. Dwóch bogatych mieszkańców Nowego Jorku powierzyło mu 10 tys. dolarów, które Thorp bardzo szybko podwoił. Co więcej, jeden z owych mecenasów grał na wszelki wypadek równolegle według własnego systemu i stracił 11 tys. dolarów. Wtedy Thorp upojony sukcesem poszedł na całego, ale ku swojej rozpaczy przegrał wszystkie pieniądze i otrzymał zakaz wstępu do domów gry.

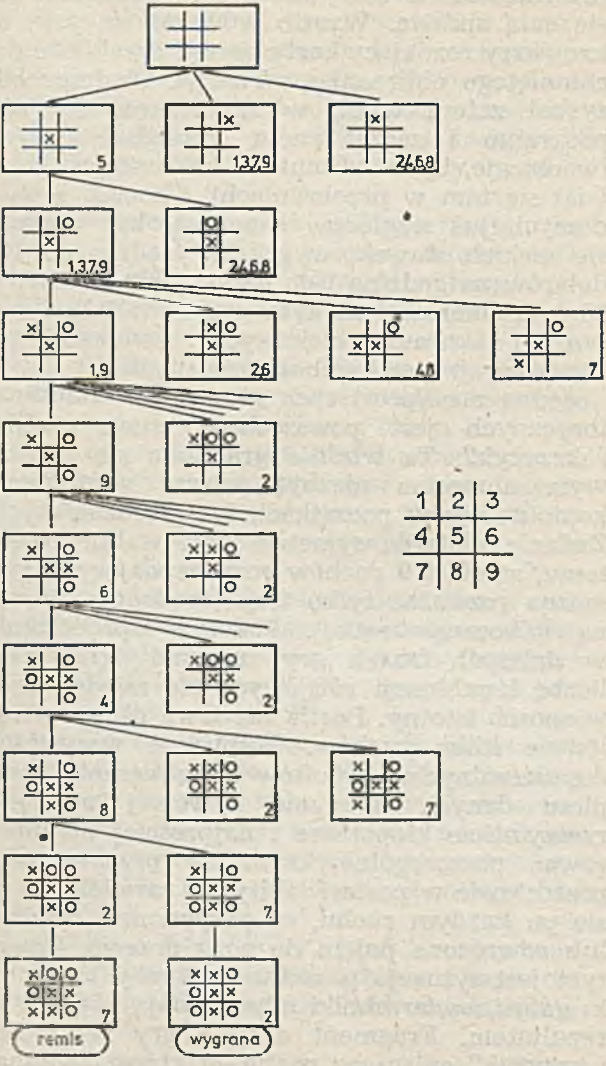
Na szczęście, zimą 1962 r., prof. Thorp poznał pewnego wyższego urzędnika, który z ramienia rządu sprawował kontrolę nad działalnością

---

[1] D. A. Waterman *General Learning Techniques for Automating the Learning of Heuristics*, „Artificial Intelligence", 1970, nr 1.

przedsiębiorstw rozrywkowych i zainteresował się całą sprawą. Wyszło wówczas na jaw, że krupierzy rozdający karty zaczęli oszukiwać pochłoniętego obliczeniami Thorpa. Profesor odzyskał zatem wiarę w skuteczność swojego programu i zaczął znów odwiedzać kasyna (w obawie, by nie broniono mu wstępu, pojawiał się tam w przebraniach). Chociaż, z wiadomych już względów zmuszony był trzymać się niskich stawek, wygrywał średnio po 100 dolarów na godzinę i do końca 1963 r. zgarnął 25 tys. dolarów, i na tym poprzestał. Zasłynął później jako autor ciekawych rozwiązań komputerowych gier kombinatorycznych.

Jedną z najprostszych gier czysto kombinatorycznych jest powszechnie znane „kółko i krzyżyk". Ta właśnie gra stała się popisowym numerem niezbyt jeszcze wprawnych komputerów w początkach lat pięćdziesiątych. Zadanie ułatwiła symetria pola walki. Dzięki temu, zamiast 9 ruchów rozpoczynających grę, można rozważać tylko trzy (środkową, narożną i boczną kratkę). Podobne uproszczenia w dalszych fazach gry znacznie ograniczają liczbę kombinacji różniących się między sobą w sposób istotny. Partia nie trwa długo — zaledwie kilka ruchów. Wypisanie wszystkich dopuszczalnych wariantów i przekazanie kompletu danych maszynie cyfrowej nie jest rzeczywiście kłopotliwe i najprościej ponumerować poszczególne kratki, a przebieg gry przedstawić w postaci labiryntu rozwidlającego się po każdym ruchu, co przypomina dendryt lub odwrócone pniem do góry drzewo. Pniem tym jest sytuacja początkowa, ruchy to odcinki gałęzi, a wierzchołki odpowiadają końcowym rezultatom. Fragment drzewa gry w „kółko i krzyżyk" opisujący partię, w której wykonano posunięcia: 5, (1 lub 3 lub 7 lub 9), (1 lub 9), 9, 6, 4, 8, 2, 7, przedstawiony jest na rys. 2.



2. Fragment drzewa gry w „kółko i krzyżyk" (pola oznaczone są cyframi od 1 do 9); na rysunku uwzględniono tylko niektóre warianty możliwych posunięć

Po przeanalizowaniu drzewa gry odpowiednio zaprogramowana maszyna jest w stanie przewidzieć wszystkie sytuacje i wybrać decyzje prowadzące do sukcesu i w praktyce staje się niemożliwa do pokonania. Wykazano to empirycznie, budując urządzenie o nazwie MENACE, specjalnie zaprojektowane do omawianej gry. Po ośmiogodzinnych zmaganiach, w czasie których rozegrano 220 partii, okazało się, że jest ono zdecydowanie lepsze od swoich twórców.

Dalsze eksploatowanie „kółka i krzyżyka" przestało być wówczas zajmujące — gra była w gruncie rzeczy skończona, zanim się jeszcze zdążyła rozpocząć. Sięgnięto wówczas po gry na tyle złożone, by maszyna zawczasu nie mogła prześledzić ich przebiegu od początku do końca, i musiała oceniać sytuację na bieżąco. Ale komputer równie łatwo uporał się z przestrzenną wersją „kółka i krzyżyka" na 64 polach (sześcian 4×4×4) dzięki programowi opracowanemu przez Williama Daly. [1] Nieco trudniejszym zadaniem było uczynienie z maszyny silnego przeciwnika do walki z człowiekiem w zmodyfikowane „kółko i krzyżyk" na nieograniczonym pokratkowanym polu, gdzie należało dążyć do postawienia pięciu jednakowych znaków w linii prostej. Takie zaprogramowanie udało się jednak J. Weizenbaumowi, R. C. Shepherdsonowi i D. Koniverowi na początku lat sześćdziesiątych. Walkę zaproponowanej przez Weizenbauma [2] maszyny z człowiekiem pokazuje rys. 3. Aby można było łatwiej obserwować grę zastąpiono krzyżyki liczbami niepa-

---

[1] W. Daly, *Computer Strategies for the Game of Qubic*, Praca magisterska na Wydziale Elektrycznym M.I.T., Cambridge 1962.

[2] J. Weizenbaum, *How to Make a Computer Appear Intelligent, Five-In-A-Row Offers No Garantee*, „Datamation", 1962, nr 2.

rzystymi, a kółka — parzystymi (zaczyna komputer, wykonując ruch numer 1, człowiek odpowiada ruchem nr 2, komputer nr 3 itd). Cel został osiągnięty: przebieg gry był całkiem poprawny, choć mało urozmaicony. Po osiem-

					79							
		71				78						
			70	**65**			76		**75**			34
				64	**55**	**77**	**43**	74			**33**	
			63	62	54	42	60	**61**	10	**11**		
			51	56	38	58	4	**59**	**9**	80		
	37	28	24	36	14	**13**	**7**	**1**	**5**	8		
53	44	**57**	26	**23**	46	**15**	12	2	**3**			
	40	**39**	**27**	**35**	**17**	16			6	**19**		
	67	52	**41**	18	20	**21**					32	
	66	**45**	22	**25**			**29**					**31**
	50	**73**	72	68	48			30				
49					**69**	**47**						

3. Gra z maszyną w „kółko i krzyżyk" na nieograniczonym polu. Cyfry wydrukowane grubszą czcionką odpowiadają ruchom wykonywanym przez maszynę

dziesięciu posunięciach człowiek wprawdzie zwycięża (ruchy nr: 78, 76, 74, 10, 80), ale nie chodziło tu przecież o to, kto wygra.

Grą kombinatoryczną, znacznie bardziej złożoną niż „kółko i krzyżyk", są warcaby. Duża liczba pól i bierek powoduje, że liczba możliwych konfiguracji jest dostatecznie duża, by wymykała się spod pełnej kontroli komputera. Nie można tu, jak w „kółku i krzyżyku", przesądzać o zwycięstwie przewidując wszystkie sytuacje. Trzeba się ograniczać do przekazania maszynie zasad gry oraz pewnych typo-

wych układów bądź fragmentów partii wraz z ogólnymi receptami na ich rozwiązywanie.

Komputerem, który w 1952 r. jako pierwszy miał okazję poznać smak warcabowej porażki, była amerykańska maszyna IBM 701. W dwa lata później program gry poprawiono i uruchomiono na sprawniejszym komputerze IBM 704. Ale mimo wyraźnego postępu i pełnego dumy stwierdzenia kierownika grupy badawczej ośrodka doświadczalnego IBM, dr A. L. Samuela, że maszyna pozwala na prowadzenie bardzo interesującej gry — był to wciąż jeszcze niezbyt dla człowieka groźny przeciwnik.

Działanie maszyny cyfrowej, którą uprzednio zapoznano z regułami, ograniczało się bowiem do rejestrowania aktualnego stanu gry w postaci zer i jedynek, odpowiadających położeniu bierek oraz do rozpatrywania paru kolejnych posunięć. Przyszłe kombinacje (przedstawione także w postaci drzewa gry) były oceniane przez odpowiednio dobrane wyrażenia matematyczne. Kombinacja, która osiągała najwyższą ocenę, decydowała o wyborze następnego ruchu.

Nie zawsze, niestety, była to decyzja najkorzystniejsza. Najwyższą ocenę, zdobywać mogły te rozgrywki, w których maszyna założyła, że przeciwnik zrobi posunięcie najgorsze z możliwych (o co oczywiście trudno podejrzewać każdego partnera). Równie nierozsądne byłoby oczekiwanie na najlepszy ruch przeciwnika. Oznaczałoby to wybór najtrudniejszej drogi do zwycięstwa. Konieczny jest zatem jakiś rozsądny kompromis oparty na rozpoznaniu siły partnera.

Tak właśnie powstała koncepcja sporządzenia takiego programu dla maszyny, by umiała przystosowywać się do konkretnych warunków, by uczyła się gry na bieżąco. Jego realizacja wymagała naturalnie zapamiętywania nie tylko

wszystkich posunięć w danej partii, ale i rozmaitych sytuacji z innych rozgrywek. Im bogatszym materiałem dysponowała maszyna, tym łatwiej znajdowała analogie i podejmowała słuszne decyzje. Program uwzględniający konieczność uczenia się w czasie gry Samuel opracował w 1955 r., a publiczny pokaz w telewizji amerykańskiej (luty 1956 r.) wzbudził niemałą sensację. Gra toczyła się ze zmiennym szczęściem, a jej poziom był wysoki. Zaprogramowanie maszyny było co prawda dość kłopotliwe i zmuszało do stosowania pamięci o dużych pojemnościach, ale dzięki temu komputer mógł sam się doskonalić, śledząc mistrzowskie walki na turniejach i zalecenia z podręczników.

W ośrodku IBM, gdzie pracował Samuel, maszyna za dnia wykonywała normalne obliczenia. W nocy, kiedy wszyscy szli do domu, komputer studiował historię warcabów i walczył sam z sobą. Każdą rozegraną przez siebie partię maszyna mogła prześledzić, oceniając własne zaawansowanie w stosunku do wybitnych graczy. Umożliwiał to umieszczony w programie współczynnik korelacji

$$C = (L-H)\ (L+H)$$

przy czym L oznacza liczbę ruchów uznanych za gorsze niż posunięcia mistrza, a H — liczbę ruchów, w których decyzja maszyny była lepsza.

W następnej kolejności, zamiast uczyć maszynę setek szczegółowych rozgrywek, zaczęto układać programy, dzięki którym, na podstawie doświadczeń, maszyna mogła wyciągać bardziej generalne wnioski. Zdobywanie wiedzy przez uogólnianie wydatnie zmniejszyło niezbędne rozmiary pamięci oraz uczyniło maszynę szybszą i bardziej efektywną, zwłaszcza w środkowej fazie gry, która wymaga dużej samodzielności decyzji. Odbiło się to jednak

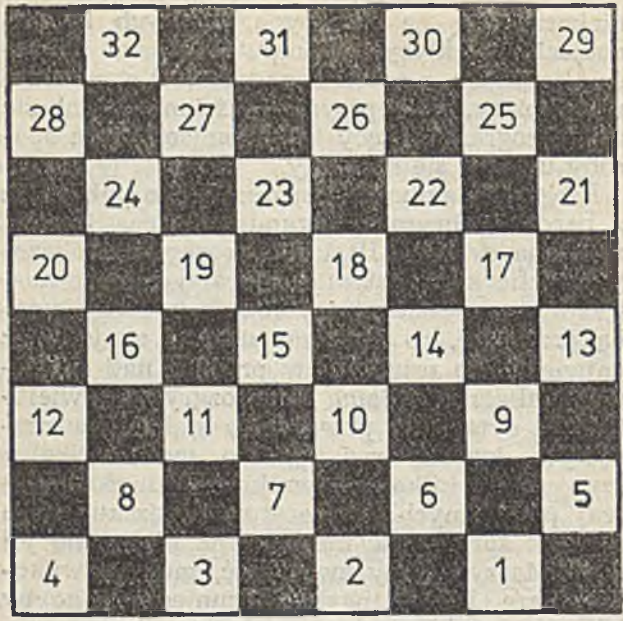
niekorzystnie na typowych, prostych kombinacjach, do których komputer musiał dochodzić sam i np. z oporami akceptował standardowe debiuty. Najlepszym wyjściem okazał się więc program łączący kompromisowo oba sposoby uczenia się maszyny.

Program Samuela skonfrontowano publicznie z bardzo dobrymi graczami. 12 lipca 1962 r. maszyna cyfrowa IBM 7090 rozegrała pokazową partię z Robertem W. Nealeyem, eks-mistrzem stanu Connecticut i odniosła zdecydowaną przewagę, co wówczas uznano za jedno z największych osiągnięć w pracach nad sztuczną inteligencją. Sama zaś rozgrywka, wielokrotnie cytowana, przeszła na stałe do warcabowych kronik (rys. 4). Po meczu Nealey oznajmił, że kilka razy unikał posunięć zazwyczaj podawanych w literaturze, bezskutecznie usiłując sprowadzić maszynę na nie znane jej tory. Maszyna, aby zwyciężyć, musiała wykonać parę błyskotliwych posunięć — gdyby ich nie zrobiła, doprowadziłby do remisu. Dlatego właśnie przedłużał grę. Ale maszyna rozegrała zakończenie partii bezbłędnie. Jeśli chodzi o końcówkę, to — jak twierdzi Nealey — nie spotkał wśród ludzi tak mocnego partnera od 1954 r., kiedy przegrał po raz ostatni.

A. L. Samuel kontynuował swoje badania, skupiając się na uczeniu się gry przez maszynę i opublikował ich rezultaty w 1967 r.[1] Ale nie poruszyły one już opinii publicznej tak jak pierwsze eksperymenty.

Grą, która przysporzyła komputerom najwięcej sławy, były szachy. „Szachy — jak pisali pionierzy badań nad sztuczną inteligencją Newell, Shaw i Simon — są grą *par excellence* intelektualną [...] Stawia ona na-

[1] A. L. Samuel, *Some Studies in Machine Learning Using the Game of Checkers*, „IBM Journal of Research and Development" 1967, nr 6.



4. Przebieg partii warcabów rozegranej w 1962 r. między maszyną cyfrową IBM-7090 a mistrzem R. Nealeyem. Przebieg gry wyglądał następująco:

Nr ruchu	Czarne (komputer)	Białe (Nealey)	Nr ruchu	Czarne (komputer)	Białe (Nealey)	Nr ruchu	Czarne (komputer)	Białe (Nealey)
1	11—15	—	19	1—10——19—26	—	37	27—31	—
2	—	23—19	20	—	31—22——15	38	—	18—9
3	8—11	—	21	11—18	—	39	31—22	—
4	—	22—17	22	—	30—26	40	—	9—5
5	4—8	—	23	8—11	—	41	22—26	—
6	—	17—13	24	—	25—22	42	—	23—19
7	15—18	—	25	18—25	—	43	26—22	—
8	—	24—20	26	—	29—22	44	—	19—16
9	9—14	—	27	11—15	—	45	22—18	—
10	—	26—23	28	—	27—23	46	—	21—17
11	10—15	—	29	15—19	—	47	18—23	—
12	—	19—10	30	—	23—16	48	—	17—13
13	6—15	—	31	12—19	—	49	2—6	—
14	—	28—24	32	—	32—27	50	—	16—11
15	15—19	—	33	19—24	—	51	7—16	—
16	—	24—15	34	—	27—23	52	—	20—11
17	5—9	—	35	24—27	—	53	23—19	—
18	—	13—6	36	—	22—18	Białe poddają się		

przeciw siebie dwa intelekty w sytuacji tak złożonej, że żaden z nich nie może jej objąć w pełni, ale równocześnie jest to sytuacja wystarczająco podatna na analizę, by każdy z przeciwników mógł mieć nadzieję wygranej [...] Szachy są naturalnym polem do przeprowadzania prób mechanizacji. Gdyby udało się skonstruować maszynę bardzo dobrze grającą w szachy, to można by się spodziewać również wniknięcia w istotę intelektualnej działalności człowieka". [1]

Szachy, ze względu na rozmaitość figur i zasad poruszania nimi, są trudniejsze do matematycznej formalizacji niż warcaby. Z każdej pozycji mamy mniej więcej 30 dopuszczalnych posunięć i aby rozpatrzyć tylko dwa ruchy do przodu należałoby prześledzić ok. 800 tys. kombinacji. Mimo to szachy — ze względu na ich wysoką rangę społeczną — zainteresowały informatyków najwcześniej ze wszystkich gier. Podstawy komputerowej gry w szachy wyłożył sam twórca teorii informacji, Claude Shannon, proponując już w 1949 r. schemat algorytmu opisującego przebieg partii. Koncepcja Shannona opierała się na omawianej już wcześniej strukturze drzewa gry. Zalecała ona rozpatrywanie wszystkich możliwych posunięć z określonym wyprzedzeniem i ocenę ich skuteczności przez prostą funkcję liniową. Jednakże nawet przy przewidywaniu ograniczonym do dwu, trzech posunięć wymaga to ogromnie żmudnych obliczeń. Może właśnie dlatego Shannon nie przeszedł do konkretów, pozostawiając rzecz w sferze idei.

Ryzyka tego podjął się A. M. Turing, który stworzył w 1951 r. pierwszy faktycznie działa-

---

[1] A. Newell, J. C. Shaw, H. A. Simon, *Program grający w szachy i problem złożoności*, [w:] E. A. Feigenbaum, J. Feldman, cyt. wyd.

jący program szachowy. Turing napisał go wspólnie ze swoim serdecznym przyjacielem Davidem Champernowne (który później zajmował się komponowaniem muzyki przy pomocy maszyn cyfrowych). Obaj są też wynalazcami „szachów okołodomowych": po ruchu gracz obiega dookoła dom i jeśli zdąży wrócić przed posunięciem partnera, ma prawo do dodatkowego ruchu.

Program Turochamp posługiwał się sugerowaną przez Shannona regułą wybierania w każdym ruchu wariantu rokującego największe zyski (można grać wg innych zasad przyjmując za kryterium generalną funkcję celu). Program decydował się więc na określoną koncepcję gry, zakładając, że jego przeciwnik odpowiadać będzie w sposób dla siebie najkorzystniejszy. Zasada ta zwana „procedurą minimaksową" lub „regułą minimaks" (bo przewiduje minimum strat po maksymalnie dobrym ruchu partnera), choć mało ofensywna i niezbyt skuteczna w przypadku gry ze słabym partnerem, była często stosowana w późniejszych eksperymentach. Program Turinga, dość złożony, przeładowany niuansami, miał ponadto spore luki, które znacznie obniżały jego skuteczność. Raz tylko wypróbowany nie sprostał początkującemu szachiście, robiąc w dodatku rażące błędy i sprawiając wrażenie, że gra trochę na ślepo.

Komputerem, który zaczął pokonywać kiepskich graczy, była maszyna cyfrowa nazwana, nomen omen, Maniac I. W 1956 r. pięciu matematyków z Los Alamos zaprogramowało ją dla gry nieco uboższej niż zwykłe szachy.[1] Przyjęli oni bowiem planszę o wymiarach 6 na 6

---

[1] J. Kister, P. Stein, S. Ulam, W. Walden, M. Wells, *Experiments in Chess*, „Journal of Association for Computing Machinery", 1956, nr 4.

pól, usunęli gońców, nie uznawali roszad i prawa pionów do początkowych ruchów o podwójnej długości. Zmniejszyło to liczbę kombinacji pięciokrotnie (!), ale i tak maszyna, według ocen fachowców, grała na poziomie człowieka mającego za sobą doświadczenie zdobyte zaledwie w dwudziestu partiach.

W rok później inny zespół naukowców, pod kierunkiem Alexa Bernsteina, zaprogramował do gry na całej szachownicy maszynę IBM 704. Była ona gotowa przewidywać sytuację z wyprzedzeniem dwóch posunięć i to biorąc pod uwagę siedem kombinacji. Maszyna trafiła na dobrego partnera, doznała porażki,[1] co zniechęciło autorów programu do dalszych doświadczeń.

Więcej wytrwałości wykazali A. Newell, J. C. Shaw i H. A. Simon, którzy stworzyli program nazwany NSS od pierwszych liter ich nazwisk. Program NSS miał kilka niezależnych podprogramów przeznaczonych do realizacji rozmaitych zadań: ochrony króla, utrzymania równowagi materialnej, podporządkowania sobie środka planszy, umacniania pozycji figur. Program umożliwiał ocenę, które z tych zadań jest w danej chwili najważniejsze. Zredukowało to znacznie liczbę rozpatrywanych kombinacji i uprościło obliczenia. W 1958 r. komputer Johniac wyposażony w program NSS zagrał przeciw prof. Simonowi i, co prawda, przegrał, ale partia ta była na tyle niebanalna, że skłoniła znakomitego szachistę Edwarda Laskera (brata mistrza świata) do wygłoszenia obszernego komentarza.

W artykule omawiającym działanie NSS[2]

---

[1] A. Bernstein, M. Roberts, *Computer vs. Chess-player*, „Scientific American", 1958, nr 6.

[2] A. Newell, J. C. Shaw, H. A. Simon, *Chess-playing Programs and the Problem of Complexity*, „IBM Journal of Research and Development", 1958, nr 2.

padło ważne stwierdzenie dotyczące przyszłości badań. Zdaniem autorów bowiem, mimo istotnych różnic między człowiekiem a maszyną, komputery powinny naśladować ludzkie sposoby rozwiązywania problemów szachowych, nie zaś szukać własnych dróg. I rzeczywiście, punkt ciężkości badań w latach następnych przesunął się na analizy rozumowania poprzedzającego wykonanie ruchu przez gracza i próby odwzorowania tego procesu w logice maszyny (poprzednio brano pod uwagę tylko moment decyzji). W prace włączyli się psycholodzy, specjaliści od teorii systemów, łączności, a także sami szachiści. Jeden z nich, holenderski mistrz świata Max Euwe, został nawet na początku lat sześćdziesiątych szefem zespołu, powołanego w ramach organizacji Euroatom dla wyjaśnienia, czy są rzeczywiście szanse na osiągnięcie w tej dziedzinie zadowalających wyników.

Tematyka ta była również szeroko dyskutowana na międzynarodowych kongresach psychologicznych, począwszy od 1963 r. (tj. od XVII Kongresu), kiedy to holenderski psycholog A. De Groot zwrócił w swoim referacie uwagę[1] na korzyści, jakie płyną dla nauki z obserwacji gier komputerowych. Psychologów interesował sposób, w jaki przy programowaniu gry w szachy dałoby się uwzględnić strukturę czynności umysłowych człowieka, wpływ emocji, ruchu oczu, itp.

W roku 1967 I. J .Good, znany szachista i matematyk oksfordzkiego Trinity Gollege wystąpił z propozycją objęcia badań jednolitym planem pięcioletnim. Zdając sobie sprawę, ile by to pieniędzy pochłonęło, asekurował się

---

[1] A. D. De Groot, *Chess-playing Programs*, Proc. Koniki. Nederl. Akademie van Wetenschappen, Amsterdam 1964, t. 26.

wobec ewentualnych oponentów twierdząc, że programowanie szachów można by uznać za sport. W każdym pięcioleciu wydaje się w Anglii 500 milionów funtów na piłkę nożną, a za każdym funtem kryje się kilka godzin studiów. Następnie traci się setki milionów godzin na przyglądanie się rozgrywkom. Koszty programowania szachów są w porównaniu z tym śmiesznie małe.

Spośród światowej sławy szachistów najbardziej zaangażował się w komputerowe eksperymenty radziecki arcymistrz Michał Botwinnik. Botwinnik miał okazję zapoznać się ze sprawą już w pierwszej połowie lat pięćdziesiątych przy okazji prowadzonych w Związku Radzieckim prób nad szachowym programem dla maszyny BESM. Z początku nie miał do tego przekonania, a nawet wyrażał się dość krytycznie o szachowej przyszłości komputerów. Powodzenie kolejnych doświadczeń zmieniło jednak jego opinię tak dalece, że w 1963 r. postanowił zająć się tym osobiście. Zapalił się do tego stopnia, że zrezygnował z eliminacji do mistrzostw świata w 1965 r. poświęcając się przekazywaniu własnych umiejętności komputerowi M-220. Rezultaty prac, bardzo interesujące i bogate, ukazały się w wydaniu książkowym. [1]

W Związku Radzieckim działa silny zespół naukowy Instytutu Fizyki Teoretycznej i Doświadczalnej Akademii Nauk pod kierunkiem G. M. Adelsona-Wielskiego. Skupił się on przede wszystkim na wynajdywaniu nowych metod skróconego wyboru, tj. eliminowaniu wszystkich konfiguracji, które nie mają istotnego znaczenia dla przebiegu partii. Naukowcy z tego zespołu, oprócz głównego programu gry

---

[1] M. M. Botwinnik, *Algoritm igry w szachmaty*, Nauka, Moskwa 1968.

w szachy, opracowali system podprogramów obserwujących przebieg partii i modyfikujących algorytmy wyboru. Tak powstała Kaissa — zestaw oprogramowania, który przeegzaminowano w styczniu 1972 r. organizując mecz z czytelnikami „Komsomolskiej Prawdy". Przed podjęciem każdego ruchu maszyna cyfrowa oceniała kilka milionów pozycji i dlatego na każdą jej decyzję trzeba było czekać nie mniej niż półtorej godziny (a czasami czterokrotnie dłużej).

Poprzednikiem Kaissy był program ITEF, zastosowany w maszynie M-20 podczas słynnego meczu komputerowego ZSRR—USA. Odbył się on na przełomie 1966 i 1967 r., ale ze strony amerykańskiej nie uczestniczyła w nim, niestety, pierwsza reprezentacja. Komputer IBM 7090, zaprogramowany pięć lat wcześniej przez studentów MIT (wersja udoskonalona w Stanford University przez zespół Johna Mc Carthy'ego), grał całkiem przeciętnie. Szkoda, bo właśnie w 1967 r. R. D. Grenblattowi udało się ukończyć program zakwalifikowany do klasy „nieco wyższej niż mistrzowska".

Kaissa tryumfowała w sierpniu 1974 r. na rozegranym w Sztokholmie komputerowym turnieju szachowym, urządzonym z okazji kongresu IFIP (International Federation for Information Processing). Turniej ten uznano za pierwsze komputerowe mistrzostwa świata (drugie odbyły się w 1977 r. w Kanadzie towarzysząc następnemu kongresowi IFIP). Kilka maszyn cyfrowych walczyło wówczas ze sobą *via* łącza telefoniczne. Kaissa przegrała tylko jedną partię i to na skutek przekroczenia czasu. Jak twierdzili jej opiekunowie, przyczyną było drobne niedopatrzenie w programie, który opierał się na wskazaniach zwyczajnego, dobowego zegara. Partia była rozgrywana wieczorem i gdy w Moskwie wybiła północ, licznik

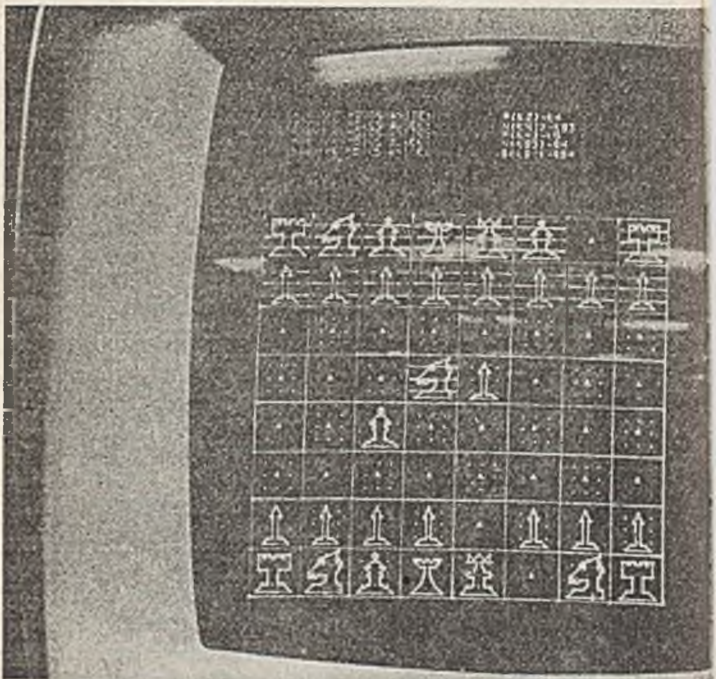
czasu w maszynie przestawił się automatycznie na zero. Komputerowi wydawało się, że nie musi się spieszyć i wyczerpał limit.

Koniec lat sześćdziesiątych przyniósł wiele interesujących opracowań (Grenblatt, Berliner), a w eksperymentach zaczęli uczestniczyć naukowcy z różnych krajów (m.in. Wielkiej Brytanii i Kanady). Umiejętności komputerów-szachistów bardzo się podniosły i obecnie przekraczają z reguły poziom średniego gracza. Potwierdzają to nawet oceny Amerykańskiej Federacji Szachowej, która szacuje siłę graczy według systemu punktowego. Najwyższy w historii szachów wynik (2824 pkt.) uzyskał Bobby Fischer, arcymistrz międzynarodowy, utrzymuje się w granicach od 2600 do 2800 pkt., mistrz — od 2300 do 2600, mistrz krajowy — od 2100 do 2300, ekspert szachowy — od 1900 do 2100, a bardzo dobrze grający amatorzy — od 1600 do 1800 pkt. Większość komputerów mieści się już w przedziale 1400—1500 pkt., podczas gdy przeciętni amatorzy nie przekraczają z zasady 1400 pkt.

Komputery startujące w normalnych turniejach szachowych nie są tam już traktowane jako osobliwość, ale też nie odnoszą zaskakujących sukcesów. Ich przeciwnicy, uznając poprawność i precyzję ruchów maszyny, zarzucają jej, że zbyt mało ma zdolności do abstrakcyjnego myślenia i uogólnień, a brak jej zupełnie tego, co jest charakterystyczne dla mistrzów: głębszego zrozumienia sensu gry. Może to i dobrze. I. J. Good stwierdził bowiem, że od momentu, gdy program szachowy pokona mistrza świata, do pojawienia się „ultra inteligentnej maszyny" nie powinno minąć więcej niż pięć lat.

Rok 1978 stanowił ważną datę w dziejach skomputeryzowanych szachów. Mijał akurat wtedy termin zakładu, który przed dziesięciu

laty podjął informatyk David Levy przeciw trzem badaczom: J. Mc Carthy'emu, S. Papertowi i D. Michie. Głosili oni, że Levy do 1978 r. zostanie pokonany przez maszynę cyfrową. Szkoda twoich pieniędzy — powiedział wówczas Levy'emu Botwinnik (chodziło o tysiąc funtów). Czas pokaże — odparł Levy i zabrał się do studiowania szachów. Decydujące spotkanie odbyło się na przełomie sierpnia



5. Ekran monitora z wyświetlonym fragmentem rozgrywki szachowej

i września 1976 r. w Toronto. W imieniu komputerów występował, najlepszy obecnie na świecie, program Chess 4.6 opracowany w

Northwestern University. Liczący pięć partii mecz Levy wygrał 3 1/2 do 1 1/2.

Dość plastycznie opisuje swoje wrażenia z takiej rozgrywki „naukowy reporter" Fred Hapgood.[1]

„Zadzwoniłem do moich przyjaciół w MIT, którzy zaaranżowali mi grę z Mac Hackiem — tak nazywał się ten program. Pokój, gdzie umieszczono komputery, jest wyizolowany z rytmu dnia codziennego. Nie ma okien. Oświetlenie słabe, żeby nie zakłócać fosforyzujących ekranów (rys. 5). Jedyne dźwięki to stukot bardzo szybkich drukarek i jeszcze cichszy szum klimatyzacji. Ludzie wchodzą bez najmniejszego hałasu i pozostają tu przez godzinę, idealnie nieruchomi. Skupienie i medytacje programistów, pierwotny pomruk maszyn sugerujący nieprzerwaną aktywność, przyćmione światła, praca trwająca okrągłą dobę — uznałem tę scenerię za dostarczającą subtelnej radości.

Pokazano mi, jak należy kodować obrazy i wprowadzać je przy pomocy monitora ekranowego. Sama gra rozpoczęła się od typowych posunięć wstępnych. Obaj, komputer i ja, znaliśmy standardowe ruchy szachowe i, jak sądzę, równie dobrze. Zdecydowałem się na wybór strategii, która powinna była zapewnić mi zwycięstwo. Każdy programista — rozumowałem — dąży do sytuacji, które maszyna potrafi łatwo ocenić, czyli do sytuacji z małą ilością figur; priorytet zatem przypisze wymianom. Dlatego starałem się komplikować akcję, licząc na to, że maszyna zagubi się wśród mnogości wariantów i popełni elementarny błąd strategiczny wchodząc w przedwczesną serię wymian, co z miejsca da mi przewagę.

---

[1] F. Hapgood, *Computers Aren't so Smart, After All*, „Atlantic", 1974, nr 8.

Ale zamiast tego po kilku szybkich wymianach byłem gorszy o jednego pionka.

Zorientowałem się, że właściwa taktyka gry z Mac Hackiem polega na utrzymywaniu dystansu i unikaniu bezpośrednich zwarć. Mocną stroną programu jest bowiem analiza fragmentów szachownicy i dążność do lokalnych wymian. Przyjąłem więc strategię wolnej, stabilnej gry, co powinno było przerastać siły programu. Kiedy się na to zdecydowałem, posunięcia Mac Hacka stały się jakby nerwowe, impulsywne. Stracił poprzedni spokój, zaczął stosować nieprzemyślane ataki. Nic w tym nadzwyczajnego: w każdym klubie szachowym spotkacie graczy, zwanych romantykami, którym satysfakcję daje bezpośredni kontakt i stałe napięcie. Ich rozgrywki są błyskawiczne, a po każdym ruchu otwierają się dziesiątki niespodziewanych możliwości. Sprowadzani do gry pozycyjnej, wykazują podobnie jak Mac Hack niecierpliwość i chcą narzucić swój styl walki.

Nie rozegraliśmy nawet pięciu partii, a już coraz wyraźniej zarysowała się recepta na zwycięstwo. Musiałem teraz rozwijać ostrożnie moje formacje, utrzymywać kontakt między skrzydłami i atakować pionkami. Mac Hack natomiast zmierzał do przyspieszenia akcji, przerzucał swoje konie i gońce przez całą szachownicę, strasząc szybkimi akcjami. Zastopowanie tych działań powodowało, że jego koncepcje załamywały się haniebnie. W dodatku było to znacznie mniej ciekawe niż gra z człowiekiem o podobnym temperamencie. Czułem, że marnuję czas, nawet jeśli Mac Hack okaże się lepszy i wygra wszystkie partie.

Przed laty pewien przedsiębiorczy *showman* obwoził po Europie karła ukrytego w skrzyni, twierdząc, że to automat szachowy. Moje do-

świadczenia z Mac Hackiem każą mi przypuszczać, że tłumy gromadzące się na pokazach *showmana* przyciągała nie tylko świadomość, że gra odbywa się z maszyną, ale i fakt, że maszyna gra po mistrzowsku i bez trudu często wygrywa.

Podczas dwóch ostatnich partii Mac Hack odmawiał wykonywania ruchów w momentach, gdy z mojej strony groził mu mat. Zastanowiły mnie te dąsy i wstrzymałem się oczekując jakiegoś wyjaśnienia. Ale Mac Hack obraził się na dobre. W końcu programista, zainteresowany tym opóźnieniem, wydobył zapis rozważań maszyny. Pracowała ona nad rozmaitymi wariantami mata, śledząc je kolejno, punkt po punkcie. «Musi tu być jakiś błąd» — powiedział programista".

Na zakończenie rozważań o komputerowych szachach zacytujmy za prof. Tichomirowem[1] przykładową partię rozegraną między maszyną M-20 a niezbyt mocnym szachistą. Eksperymentem kierował członek zespołu moskiewskiego Instytutu Fizyki, W. Ł. Ałazarow.

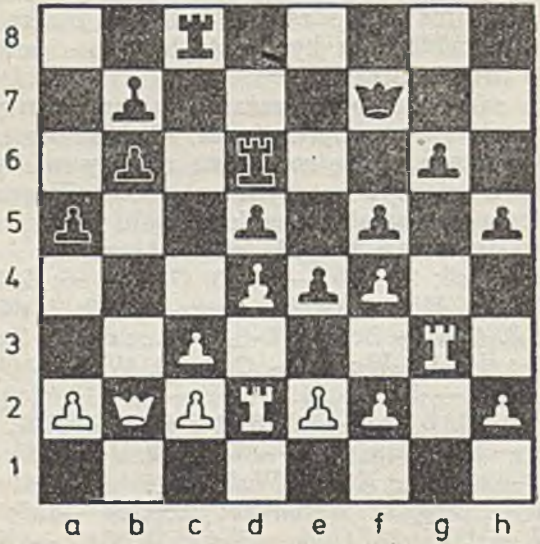
1. e4 — c5; 2. Hh5 — b6; 3. Gc4 — e6; 4. Sc3 — Sf6; 5. Hf3 — Gb7; 6. Se2 — Ge7; 7. d4 — 0-0; 8. Gf4 — Sc6; 9. 0-0-0 — c : d; 10. S : d4 — S : d4; 11. W : d4 — Gc5; 12. Wd2 — Gb4; 13. We1 — S : e4; 14. S : e4 — d5; 15. Sc3 — G : c3; 16. b : c3 — Wc8; 17. Gd3 — Hf6; 18. Gd6 — H : f3; 19. g : f3 — Wd8; 20. Ge5 — f6; 21. Gg3 — e5; 22. Kb2 — Wc5; 23. f4 — e4; 24. Gf1 — Wc8; 25. We3 — f5; 26. Gh4 — a5; 27. Ge7 — Wc7; 28. Gd6 — Wd7; 29. Ge5 — Kf7; 30. Wg3 — g6; 31. Ge2 — Ke6; 32. Gd4 — Wd6; 33. Wh3 — h5; 34. Wg3 — Kf7; 35. G : h5 — g : h; 36. Wg7+ — Ke6; 37. W : b7 — i w tym momencie partię przerwano.

---

[1] O. K. Tichomirow, *Struktura czynności myślenia człowieka*, PWN, Warszawa 1976.

Czytelnicy, jeśli mieli cierpliwość prześledzić powyższy zapis, mogą teraz podjąć próbę określenia, jakim kolorem grała maszyna. Ankietowani po meczu psycholodzy typowali mniej więcej pół na pół, znajdując w stylu gry i białych i czarnych tyle samo bezdusznych decyzji i braku polotu. A komputer grał białymi.

Komentatorzy tej partii zwracali uwagę na posunięcia 35 kolejki, kiedy to maszyna oddała gońca za pionka. (G : h5 — g : h). Dzięki temu zyskała jednak później gońca (przez związanie króla) i wyszła z tej wymiany z pionkiem na swoją korzyść (rys. 6).



6. Fragment partii szachowej, w której uczestniczył radziecki komputer M-20

Grą, z której komputeryzacją — o czym się za chwilę przekonamy — można wiązać największe nadzieje, jest *Go*, licząca ponad 4 tys. lat i wywodząca się z Chin. Drugą ojczyzną

tej gry stała się Japonia, gdzie dotarła ona wraz z mnichami buddyjskimi w szóstym wieku naszej ery.

Obecnie na świecie uprawia *Go* kilkadziesiąt milionów osób (w samej Japonii 7 mln). W Europie znana jest co prawda od 1617 r., ale prawdziwy jej rozwój zaczął się dopiero przed kilkoma laty. Wielu znanych brydżystów i szachistów przekwalifikowało się na *Go*, a część z nich całkiem porzuciła swoje dawne zamiłowania. Europejska Federacja *Go* zrzesza ponad 30 tys. członków i w roku 1977 patronowała 14 międzynarodowym turniejom. Rozegrano już także I Mistrzostwa Polski (Warszawa, listopad 1977 r.).

Wielkim entuzjastą *Go* był najwybitniejszy polski specjalista od gier, Lech Pijanowski. W swoim *Przewodniku*[1] przedstawił zasady dziesiątków rozmaitych gier. I raz tylko odstąpił od lakonicznego opisu reguł, pozwalając sobie na podany wytłuszczonym drukiem odautorski komentarz: „Pragnę gorąco zaapelować do Czytelników, by ze szczególną uwagą — cierpliwością i zapałem zajęli się grą w *Go*. Jest to gra bez przesady znakomita; ze wszystkich gier, w jakie grywałem, najlepsza, najciekawsza, najbardziej dramatyczna [...] Dzisiaj *Go* jest czymś więcej niż tylko grą towarzyską i umysłową — jest istotnym zjawiskiem w kulturze współczesnej, szczególnym rodzajem nauki i sztuki jednocześnie. A także rodzajem sportu umysłowego na najwyższym poziomie”.[2]

Solidaryzując się w pełni z opinią L. Pijanowskiego chciałbym i ja przyczynić się do popularyzacji *Go* omawiając ją tutaj nieco

---

[1] L. Pijanowski, *Przewodnik gier*, Iskry, Warszawa 1972.

[2] Tamże.

szerzej. Zwłaszcza, że gra ta niemal idealnie nadaje się do komputeryzacji — wystarczy ją bodaj porównać z innymi grami, które zdobyły ostatnio popularność (np. *Monopoly*, *Nim* czy *Gomoku*), i które również były przedmiotem podobnych eksperymentów. Dodajmy, że ledwie się pojawiła, popularna przed rokiem i u nas, gra *Mistermind*, stworzono dla niej programy komputerowe (m.in. Lloyda Milligana w języku Basic), które bez najmniejszych kłopotów rozpracowywały wszystkie dopuszczalne ewentualności. Informacje o *Go* opublikowane w Polsce można by policzyć na palcach jednej ręki, a o komputerach grających w *Go* nie ukazała się do tej pory żadna wzmianka.

W grze bierze udział dwóch uczestników posługując się planszą o 19 przecinających się pionowych i poziomych liniach. Gracze na zmianę stawiają na przecięciach kamienne krążki — jeden używa czarnych, drugi — białych. Raz postawiony pion nie jest przesuwany. Przeciwnicy starają się otoczyć własnymi pionami jak największy obszar lub zniszczyć obozy wroga (okrążając jego piony). Reguły są zatem proste, rozmaitość pionów i posunięć niewielka, natomiast liczba możliwych kombinacji ogromna (około 10^{761} podczas gdy w szachach — ok. 10^{120}). Znakomita okazja dla komputera do wykazania się swoimi umiejętnościami kombinatorycznymi.

Nad sposobami komputeryzacji *Go* zastanawiano się już na początku lat pięćdziesiątych (Morris, Smith i Goodel), a udane teoretyczne próby sformalizowania gry pojawiły się pod koniec tamtej dekady (Takagawa, Lasker). W 1964 r. E. Thorp i W. E. Walden napisali program rozpatrujący sytuacje lokalne, elementarne fragmenty gry na wycinku planszy. Program ten miał rzetelną podbudowę matematyczną, udokumentowaną kompletem nie-

zbędnych twierdzeń i dowodów. Wiadomości o eksperymentalnych programach dla *Go* zmobilizowały Japończyków, którzy podjęli temat ze zdwojoną względami prestiżowymi energią i po pewnym czasie mogli się pochwalić komputerem grającym w *Go* z publicznością odwiedzającą Wystawę Światową w Osace.

Programowaniem *Go* zajmowało się kilkudziesięciu naukowców, stosując zazwyczaj dwie metody. Pierwsza opierała się na analizie tradycyjnego drzewa gry, druga wykorzystywała metody rozpoznawania obrazów. W 1971 r. jedno z ciekawszych i oryginalniejszych rozwiązań zaproponował Jonathan L. Ryder, który w swojej pracy doktorskiej oparł się na heurystycznej analizie drzewa gry.[1] Napisany przez Rydera program zmierzył się z profesorem Donaldem E. Knuthem. Komputer przegrał, ale nie wynik jest ważny. Istotniejsze jest, że taka sława w dziedzinie programowania, jak prof. Knuth, dał się namówić na grę w *Go* z maszyną.

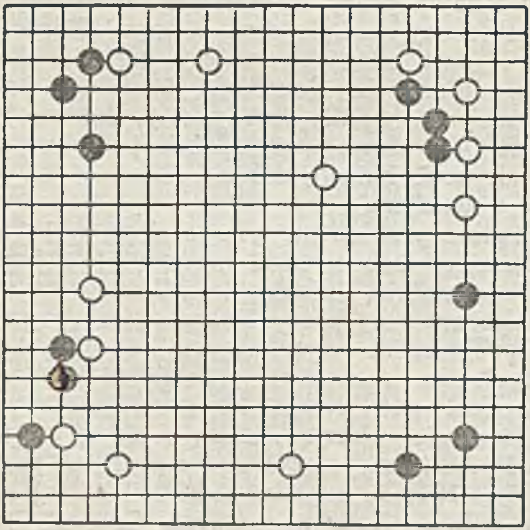
W Polsce problemem tym zajął się w 1973 r. Włodzimierz Dobosiewicz, matematyk z Instytutu Informatyki Uniwersytetu Warszawskiego. Po półtorarocznej pracy Dobosiewicz dysponował programem wynikającym z przybliżeń opartych na rachunku prawdopodobieństwa, który brał pod uwagę 38 parametrów gry. Program miał okazję zmierzyć się z programem Rydera i zwyciężył. A oto początek partii, jaką 7.06.1974 r. o godz. 11 53'22" zaczął rozgrywać E. B. Roth z maszyną Control Data z Sunnyvale Development Center, wyposażoną w program Dobosiewicza (rys. 7). Kompu-

---

[1] J. L. Ryder, *Heuristic Analysis of Large Trees as Generated in the Game Go*, Computer Science Dept of Stanford University, Stanford 1971.

ter gra białymi i, jak widzimy, wcale nieźle daje sobie radę.

Mimo wielu sukcesów komputery jako inteligentni partnerzy do gier nie spełniły wszystkich nadziei lat pięćdziesiątych. Ludzie liczyli wówczas na szybkie i spełniające oczekiwania wyniki i dopiero po niewczasie zdali sobie sprawę, że pozornie łatwe problemy są w gruncie rzeczy nader złożone i czasochłonne, a więc nie dające się rozwiązać dotychczas stosowanymi metodami. Stąd też ciężar badań przesunął się w kierunku teorii stosujących dość złożony, skomplikowany aparat matematyczny wykraczający poza prostą kombinato-



7. Początek partii Go. Maszyna gra białymi pionami

rykę. Zaczęły powstawać opracowania, które przyjmując wysoki stopień uogólnienia zmierzały do wprowadzenia zmian w działaniu samych maszyn. Czołowym przedstawicielem tego

nurtu jest Albert L. Zorbist[1] mający zresztą na swoim koncie parę udanych programów dla Go.

Dość interesujące rezultaty przyniosły badania nad przekształceniem jednej gry w inną. Okazało się dzięki nim, że np. popularna gra w tzw. „wyścigi" daje się z powodzeniem matematycznie odwzorować na „kółko i krzyżyk". I choć na pierwszy rzut oka nie ma między nimi żadnego podobieństwa, można jednak do „wyścigów" zastosować wszystkie algorytmy zapewniające zwycięstwo w „kółko i krzyżyk". Opracowano także kilka programów zdolnych do uczestnictwa w różnych grach — np. program J. Pitrata z 1968 r. mógł grać w szachy, „kółko i krzyżyk" lub *Gomoku*.

Nie było to wszystkim, czego oczekiwano, ale nie domagajmy się jednak od razu wszystkiego. Komputery przegrywają z mistrzami — to prawda. Mistrzów jest jednak niewielu, a stworzenie partnera do równorzędnej gry z setkami tysięcy amatorów ma też swoje znaczenie (jakże bowiem trudno nieraz znaleźć godnego siebie przeciwnika). Zwłaszcza, że taki podręczny komputerowy sparring—partner może być zbudowany na układach scalonych wytwarzanych w tzw. dużej skali integracji. To już nie fikcja, lecz rzeczywistość. Postęp technologiczny doprowadził przecież do powstania mikroprocesorów mieszczących logikę komputera w jednej kostce układu scalonego mniejszej od pudełka zapałek.

Właśnie na takim mikroprocesorze zbudowany jest Computer Chess Challenger II, którego reklamy pojawiły się w pismach popularnonaukowych w końcu 1977 r. Urządzenie to wy-

---

[1] A. L. Zorbist, F. R. Carlon Jr., *Detection of Combined Occurrences*, „Communications of the ACM" nr 1, 1971.

gląda jak zwykła szachownica z wbudowanym minikalkulatorem. Po wykonaniu ruchu człowiek sygnalizuje go odpowiednią kombinacją przycisków w klawiaturze minikalkulatora. Maszyna niemal natychmiast replikuje swoim posunięciem: na dwu ekranikach pojawiają się współrzędne pól — skąd i dokąd należy dokonać przestawienia. Nad ekranikami umieszczone są światełka: jedno zapala się gdy maszyna ma nas w szachu, drugie oznacza „przegrałem".

Z Computer Chess Challengerem II można grać białymi lub czarnymi, cofać ruchy, wracać do dowolnego fragmentu partii. Nie dość na tym! Urządzenie można regulować zmieniając siłę jego gry w zależności od tego, czy jest się początkującym, średnim czy zaawansowanym przeciwnikiem. Producent — firma Chafitz z Maryland — zapewnia 3-miesięczną gwarancję i wysyła swój produkt za zaliczeniem pocztowym (tylko 275 dolarów!).

3 TWIERDZENIA I DOWODY

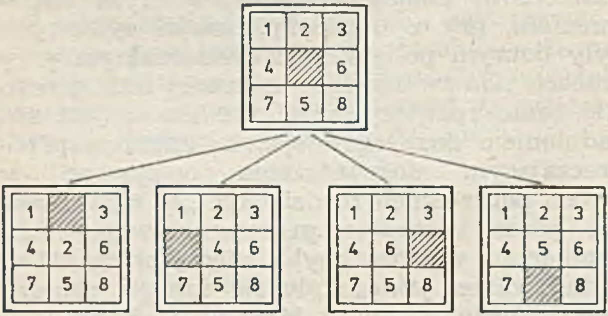
Aby wygrać partię warcabów, szachów lub Go komputer podobnie jak człowiek, musi rozwiązać kilkaset, a może nawet kilka tysięcy problemów. Dlatego właśnie, o czym wspomniałem, gry z udziałem maszyn cyfrowych były dobrym poligonem doświadczalnym przy pracach nad tworzeniem sztucznej inteligencji. Ale samo rozwiązywanie problemów jest zagadnieniem dużo ogólniejszym, znacznie przekraczającym doświadczenia opisywane w dwóch poprzednich rozdziałach. „W symulowanie przez komputer procesu rozwiązywania problemów włożono chyba więcej pracy niż w symulowanie jakiegokolwiek innego procesu psychicznego" — pisał Michael J. Apter.[1] — „Częściowo mógł przyczynić się do tego fakt, że rozwiązywanie problemów wchodzi w skład każdej definicji myślenia, nawet najwęższej".

Stając przed zagadnieniem, którego nie da się pokonać „z marszu", staramy się najpierw zrozumieć jego istotę i zebrać o nim dostateczną ilość informacji. Potem następuje analiza i czas na „dojrzewanie" problemu, czyli na

[1] M. J. Apter, *Komputery a psychika. Symulacja zachowania*, PWN, Warszawa, 1973.

przetrawienie go, „przespanie się z nim" itp. Efektem owych zabiegów powinno być nawiedzające nas — ponoć ni stąd, ni zowąd — olśnienie i towarzyszący mu okrzyk „eureka" — czyli tzw. zjawisko „aha!". I teraz dopiero możemy przystąpić do konkretyzacji rozwiązania — z praktyki zaś wiadomo, że nad tym również trzeba się niemało natrudzić.

Dzieje się tak nawet przy rozwiązywaniu dość prostych łamigłówek, jak choćby ta powszechnie znana o ośmiu ruchomych polach (rys. 8). Problem nie odbiega tu zbytnio od zadań występujących przy grach komputerowych (można stworzyć „drzewo przesuwania", zupełnie analogicznie do „drzewa gry"), a jednocześnie jego złożoność nie wykracza poza przeciętne ludzkie umiejętności.

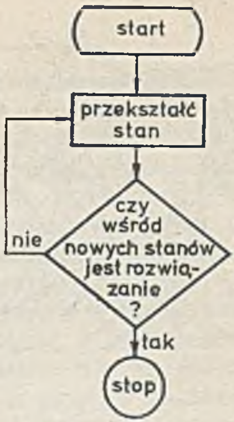


8. Fragment drzewa „przesuwania" — łamigłówki o ośmiu ruchomych polach

J. E. Doran i D. Michie z myślą o rozwiązywaniu tego typu problemów opracowali na Uniwersytecie w Edynburgu algorytm i program komputerowy nazwany Graph Traverser.[1] Problem interpretowany był tutaj jako

[1] J. E. Doran, *New Developments of the Graph Traverser. Machine Intelligence* 2, Oliver and Boyd, Edinburgh, 1968.

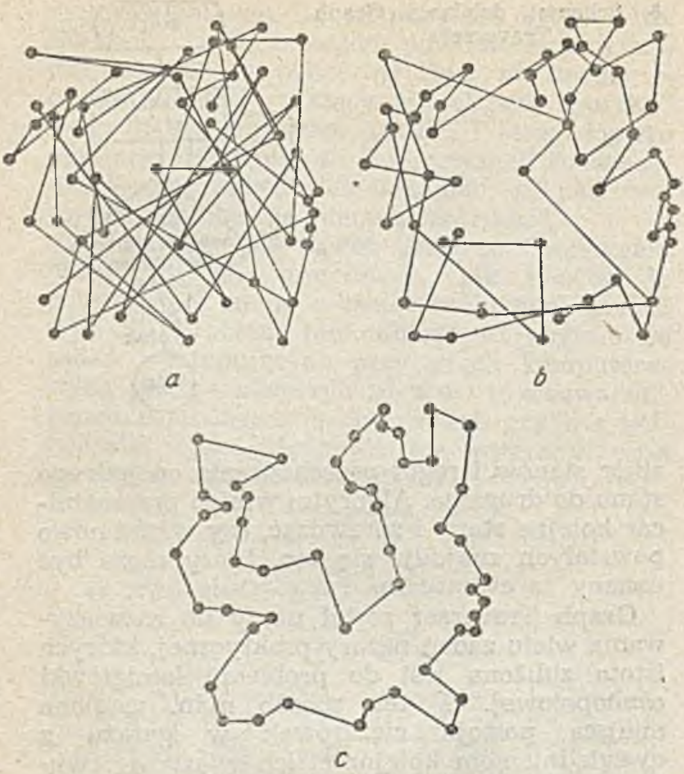
9. Schemat działania Graph Traversera



zbiór stanów i reguł przechodzenia od jednego stanu do drugiego. Algorytm winien przekształcać kolejne stany i sprawdzać, czy wśród nowo powstałych znajduje się ten, który może być uznany za ewentualne rozwiązanie (rys. 9).

Graph Traverser został użyty do rozwiązywania wielu zadań natury praktycznej, których istota zbliżona jest do problemu łamigłówki ośmiopolowej. W ten sposób m.in. ustalono miejsca postoju ciężarówek w garażu z uwzględnieniem kolejności ich wjazdów i wyjazdów, oraz rozwiązano tzw. problem komiwojażera: znalezienie najkrótszej drogi przy objeżdżaniu pewnej ilości miast. Na rys. 10 widać kolejne etapy zbliżania się maszyny do poprawnego wyniku. Z początku (a) trasa jest zupełnie przypadkowa i jej umowna długość wynosi 17 724; w połowie procesu (b) obliczeniowego trasa zostaje skrócona do 8420; rezultat końcowy (c) jest już owym poszukiwanym minimum 4192.

Charakterystyczne dla tego typu problemów jest również zadanie „przelewania": jak odmierzyć 6 litrów wody mając naczynia 9- i 4-lit-



10. Graph Traverser rozwiązuje zadanie znajdując najkrótszą drogę

rowe? Trzeba wypełnić naczynie 9-litrowe (9,0), przelać z niego 4 litry do drugiego (5,4), opróżnić to drugie (5,0), jeszcze raz przelać (1,4), znowu opróżnić (1,0), przelać pozostały litr (0,1), wypełnić pierwsze naczynie (9,1) i dopełnić drugie (6,4) — w pierwszym naczyniu pozostanie wówczas dokładnie 6 litrów. Ciekawym przykładem użycia wspomnianego Graph Traversera było też układanie, znacznie trud-

niejszej niż poprzednia, łamigłówki piętnastopołowej.[1]

Przy okazji: łamigłówka 15-polowa obchodzi właśnie stulecie swego istnienia. Wynaleziona w 1878 r. przez Sama Loyda, była kiedyś tak popularna, że angielscy pracodawcy specjalnym zarządzeniem musieli zabronić robotnikom układania jej w godzinach zajęć.

Dużo poważniejsze niż zabawa w łamigłówki wydają się być rozwiązywanie zadań geometrycznych. Oba te zagadnienia nie są jednak zbyt od siebie odległe — ich stopień trudności jest z punktu widzenia komputera niemal identyczny. Przekonał się o tym Marvin Minsky,[2] gdy chciał się zorientować, czy maszyna potrafi udowodnić jedno z podstawowych twierdzeń o równości kątów przy podstawie trójkąta równoramiennego.

Znany nam ze szkoły dowód Euklidesa opiera się na podobieństwie dwóch trójkątów powstałych na skutek przeprowadzenia z wierzchołka *A* odcinka prostopadłego do podstawy (rys. 11). Maszyna zasugerowała inne rozwiązanie, wcale nie wymagające dodatkowych konstrukcji. Potraktowała trójkąty *ABC* i *ACB* jako odrębne figury i wydrukowała odpowiedź

$$\text{DANE: } AB = AC$$
$$AC = AB$$

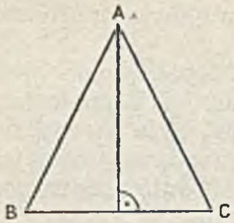
$$\text{DOWÓD } \sphericalangle BAC = \sphericalangle CAB$$
$$\triangle ABC = \triangle ACB$$
$$\sphericalangle ABC = \sphericalangle ACB \qquad \text{C.B.D.O.}$$

Okazało się przy tym, że dowód ten został już przedstawiony na przełomie III i IV w. przez

---

[1] *The Robots Are Comming*, Sandbach, 1974 NCC Publications.

[2] M. L. Minsky, *Notes on the Geometry Problem. Artificial Intelligence Project*, Dartmouth College, Hanover, 1956.



11. Trójkąt z dowodu Euklidesa

Pappusa z Aleksandrii, ale niestety później zapomniano go.

Dowodzeniu twierdzeń z geometrii euklidesowej poświęciła także dużo uwagi grupa badaczy pracująca w nowojorskim centrum doświadczalnym IBM pod kierunkiem H. Gelerntera.[1] Zbudowano tam nawet „maszynę do geometrii", mającą dość obszerne oprogramowanie, w gruncie rzeczy był to przerobiony komputer IBM 704, który dawał sobie całkiem nieźle radę z dowodzeniem większości twierdzeń zaczerpniętych z podręczników dla szkoły średniej lub z zestawów wykorzystywanych na egzaminach maturalnych. I tak twierdzenie: Każdy punkt na dwusiecznej dowolnego kąta jest jednakowo odległy od boków tego kąta zostało udowodnione w niespełna minutę, a przeprowadzenie dowodu dla: Przekątne równoległoboku dzielą się wzajemnie na połowy trwało trzy minuty. Powyższe wyniki nie zadowoliły jednak naukowców, zwłaszcza że zbyt złożony program często wyczerpywał będącą do dyspozycji pojemność pamięci. Przez następne lata grupa Gelerntera udoskonalała swoje urządzenie wzbogacając je

[1] H. Gelernter, *Realization of a Geometry Theorem-proving Machine. Proceedings of the International Conference on Information Processing*, Unesco House, Paryż, 1959.

np. o programy selekcji i programy tworzenia konstrukcji geometrycznych, dzięki którym maszyna mogła udowadniać nawet bardzo złożone twierdzenia.

„Maszyna do geometrii" jest klasycznym przykładem systemu działającego na podstawie metod heurystycznych. Metody te okazały się nader przydatne w większości prac dotyczących sztucznej inteligencji — np. przy omawianych już komputerowych grach w warcaby, szachy i *Go*. Różnią się one zdecydowanie od metod algorytmicznych, choć nie należy tych dwóch sposobów postępowania uznawać za skrajnie przeciwstawne. Algorytm to zbiór czynności, których wykonanie doprowadza do rozwiązania, czyli pewnego rodzaju „przepis na wynik". Heurystyka zaś to zestaw ogólnych zasad działania opartych na wynajdywaniu nowych faktów oraz istniejących między nimi zależności. Postępowanie heurystyczne oszczędza czas, bo nie wymaga rozpatrywania wszystkich możliwych wariantów, lecz tylko tych, które rokują szanse największego powodzenia. Możemy je zastosować do analizy rozmaitych problemów, nawet takich, dla których nie ma rozsądnego algorytmu. O ile jednak podejście algorytmiczne zawsze gwarantuje rozwiązanie, to heurystyka takiej pewności nie daje. Sugeruje ona raczej propozycje rozwiązań, które zresztą są zazwyczaj całkiem poprawne.

Kariera heurystyki rozpoczęła się na dobre w 1954 r., dzięki teoretycznej pracy prof. G. Polya [1], Węgra urodzonego w Budapeszcie, który wykładał długie lata w Zurichu, a potem w Stanford University. Podstawy programowania heurystycznego sformułowano na sympozjum (w angielskim mieście Teddington

---

[1] G. Polya, *How to Solve It*, Princeton Univ. Press, New Jersey, 1954.

w 1958), poświęconym mechanizacji procesów myślenia. Stało się wtedy rzeczą oczywistą, że heurystyczny sposób myślenia jest znacznie bliższy naturze działania naszego mózgu niż rozumowanie algorytmiczne. „Heurystyka — pisali E. A. Feigenbaum i J. Feldman — to oparta na doświadczeniu zasada, strategia, chwyt, uproszczenie lub jakiś inny środek, w sposób istotny ograniczający poszukiwanie rozwiązań złożonych problemów".[1]

Propagatorzy heurystyki, A. Newell, J. C. Shaw i H. Simon, wykazywali jej przewagę posługując się argumentem Algorytmu Muzeum Brytyjskiego (nazwanym swego czasu przez polskiego tłumacza „brytyjskim algorytmem muzealnym"!). Chodziło o to, że gdyby rozdać małpom maszyny do pisania i nauczyć algorytmów posługiwania się tym sprzętem, to kiedyś wystukałyby one wszystko, co zawierają książki zgromadzone w British Museum. Tyle, że kosztowałoby to mnóstwo czasu, nie mówiąc już o papierze. Lepiej więc stosować heurystykę.

Nie przypadkiem więc w artykule[2], w którym ci trzej badacze opisują swoje osiągnięcie przy tworzeniu „maszyny do teorii logiki" znalazł się podtytuł „stadium heurystyczne", a w przypisach tłumaczą się z użycia po raz pierwszy w tym znaczeniu terminu „heurystyka". Chociaż owa „maszyna" była właściwie programem napisanym dla komputera Johniac, to jednak autorzy zalecali „myślenie o maszynie do teorii logiki jak o prawdziwej, fizycznej maszynie, i o pracy programu, jak o zachowaniu się maszyny". Programowanie heurystycz-

---

[1] E. A. Feigenbaum, J. Feldman, cyt. wyd.

[2] A. Newell, J. C. Shaw, N. A. Simon, *Empirical Explorations of the Logic Theory Machine Heuristic Study*, Proceedings of the Western Joint Computer Conference, 1957.

ne umożliwiło Johniakowi śledzenie tylko łańcuchów logicznych, które prowadziły do uzyskania poprawnego dowodu, przy czym kolejne kroki były wykonywane z wystarczająco dużym prawdopodobieństwem. W ten sposób komputer wzniósł się ponad dotychczasowy poziom mechanicznego rozwiązywania problemów, a jego praca nabrała subtelności i mogła świadczyć o posiadaniu czegoś w rodzaju intuicji. Wytłumaczenie istoty tego zjawiska wymagałoby przedtem obszernego wykładu z programowania, a następnie śledzenia programu Johniaka rozkaz po rozkazie. Ponieważ niniejsza książka nie jest encyklopedią informatyki — poprzestaniemy tu jedynie na obserwacji rezultatów działania programów. Wnikanie w ich naturę wymagałoby bowiem osobnej publikacji.

„Maszyna" została użyta do dowodzenia twierdzeń logiki formalnej (rachunku zdań) opartych na zadanych aksjomatach i regułach wnioskowania. Swoje umiejętności potwierdziła dowodząc 38 z 52 twierdzeń umieszczonych w drugim rozdziale książki B. Russela i A. N. Whiteheada *Principia Mathematica*. Z twierdzeniem

(p implikuje nie p) implikuje nie p

uporała się w 10 sekund, a

nie (p lub q) implikuje nie p

zajęło jej 12 minut. Przy dowodzeniu twierdzenia

p lub (q lub r) implikuje (p lub q) lub r

dała jednak za wygraną po 23 minutach.

Napisanie programu, choć nie heurystycznego, zdolnego udowodnić wszystkie zawarte w *Principia Mathematica* twierdzenia, udało się w trzy lata później H. Wangowi.[1] Zastosował

---

[1] H. Wang, *Toward Mechanical Mathematics*, IBM Journal of Research and Development 1960.

on maszynę IBM 704, a metody dowodzenia oparł na specjalnych formalnych regułach wnioskowania. W 1963 r. J. R. Slagle opracował program całkowania symbolicznego, który sprostał 52 spośród 54 zadań wziętych z egzaminów końcowych na M.I.T. Jeszcze bardziej udaną wersję programu całkowania formalnego stworzył w 1967 r. J. Moses. Trzeba tu również wspomnieć o kilku wariantach programu do układania twierdzeń opartych na zadanych aksjomatach — powstały one w 1967 r. na Uniwersytecie Berkeley — oraz o zdolnym do samouczenia się programie analizy regresyjnej, napisanym na M.I.T. [1]

Kontynuacją „maszyny do teorii logiki" był opracowany przez tych samych autorów, [2] wspomniany już, program GPS (Genelar Problem Solver — rozwiązywacz problemu ogólnego). GPS był programem heurystycznym, który dzielił postawiony problem na prostsze zagadnienia i starał się po kolei z nimi uporać. Mógł przy tym wykonywać trzy typy zadań: 1) przekształcanie jednego obiektu w inny, 2) zmniejszanie różnic między dwoma obiektami (to nie to samo, co przekształcanie jednego), 3) zastosowanie do danego obiektu wybranego operatora. Po każdej operacji GPS sprawdzał, czy nowo powstały stan jest trudniejszy do rozwiązania od poprzedniego. Jeśli tak było, rezygnował z tego kierunku poszukiwań, wybierając prostszą drogę.

Parę dokładnych zapisów działania GPS porównano z protokołami zawierającymi relacje osób nakłonionych do rozwiązywania tych

---

[1] F. A. Miller, *Improving Heuristic Regression Analysis*, 6-th Annual Southeastern Regional Meeting of the ACM", 1967.

[2] A. Newell, H. A. Simon, *GPS, A Program That Simulates Human Problem-Solving*, Proc. of a Conf. on Learning Automata, Karlsruhe, 1961.

samych problemów. Okazało się wtedy, że nie tylko generalna metoda (wyodrębnianie podproblemów, przekształcanie opisów i stosowanie znanych prawideł), ale i niektóre szczegółowe decyzje maszyny nie odbiegały od toku myślenia przeciętnego człowieka. GPS stał się więc nie tylko doniosłym osiągnięciem w dziedzinie sztucznej inteligencji, ale przysłużył się także lepszemu poznaniu ludzkich procesów myślowych. Komputerowe programy rozwiązywania problemów — zdaniem Newella i Simona — „dowodzą z absolutną pewnością, że swobodne zachowanie inteligentnego człowieka można uznać za wynik działania skomplikowanego, lecz skończonego i w pełni określonego zbioru reguł”. [1]

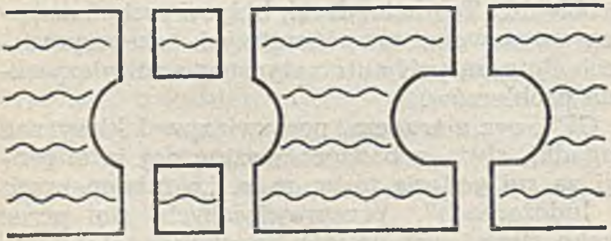
Oprócz posługiwania się metodą podziału na podproblemy, czyli rozwiązywania postawionego zagadnienia krok po kroku, GPS miał możliwość działania w inny sposób. Mógł upraszczać złożone zadanie, rozwiązywać je w owej mniej skomplikowanej postaci, a rezultaty wykorzystywać przy rozwiązywaniu właściwego problemu. Te dwie drogi były zresztą zazwyczaj stosowane w późniejszych eksperymentach dotyczących automatycznego rozwiązywania problemów.

GPS, acz z trudem, porozwiązywał klasyczne zagadki, służące badaczom sztucznej inteligencji za *sui generis* testy, m.in. „o misjonarzach i ludożercach”, przeprawiających się przez rzekę (ludożercy umieją wiosłować, ale mogą być kłopoty, jeśli na którymś z brzegów znajdzie się więcej ludożerców niż misjonarzy). Zadanie to przypomina słynny dylemat wieśniaka przewożącego w jednej łodzi wilka, kozę

---

[1] A. Newell, H. A. Simon, *GPS — Program, który symuluje myśl ludzką* [w:] E. A. Feigenbaum, J. Feldman [red], cyt. wyd.

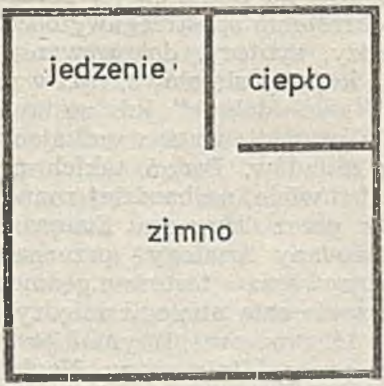
i kapustę. GPS uporał się też z układanką *Wieża w Hanoi* (opisaną w rozdziale piątym). Aby zatem nie nabrał o sobie zbyt wysokiego mniemania, eksperymentatorzy podsunęli mu koszmarną łamigłówkę *Siedem mostów w Królewcu* (od zadania tego zaczęła się zresztą teoria grafów i topologia). Dowcip polega na tym, że trzeba przejść przez wszystkie mosty z rys. 12, ale przez każdy tylko raz, i powrócić do punktu startowego. W roku 1736 Euler drogą rozważań topologicznych udowodnił, że jest to rzecz niewykonalna. GPS, nie znając wywodu Eulera, nie potrafił nawet wytłumaczyć, dlaczego jest bezsilny wobec zagadki. Bezradność Rozwiązywacza wykazała jego zależność od uzdolnień programisty do tworzenia odpowiednich opisów problemu. Zależność znacznie większą, niż można by sądzić, gdy się ma do czynienia z tak uniwersalną maszyną. GPS powinien by raczej sam dla siebie tworzyć nowe opisy problemów, jeśli nie umie ich rozwiązać w postaci podanej przez programistę.



12. Łamigłówka: *Siedem mostów w Królewcu*

W 1968 roku J. E. Doranowi udało się stworzyć program imitujący podejmowanie decyzji przez zwierzę. Napisany w języku POP-2 i uruchomiony na maszynie Elliott 4100, program Dorana uwzględniał dwa cele zasadnicze: jedzenie i ciepło — oraz dodatkowe przesłanki:

odległość, czas, trudności w poruszaniu się, poprzednie działanie. Hipotetyczne zwierzę znajdowało się w stanie opisanym przez wektor złożony z sześciu elementów: ściany, odległość, poprzednie działania, głód, temperatura, czas (rys. 13).



13. Sytuacja, w której działa program imitujący zachowanie się zwierzęcia (zwierzę — program — jest na początku w ciepłym pomieszczeniu)

Doran podzielił działanie programu na sześć faz:

a) zwierzę jest w ciepłym pomieszczeniu, najedzone — dlatego śpi,

b) budzi się pod wpływem uczucia głodu,

c) uświadamia sobie, że jest głodne, i przywołuje z pamięci stan sytości; stan ten przyjmuje jako cel działania,

d) zwierzę układa plan konieczny do osiągnięcia celu, rozważając, czy jest dostatecznie głodne, by pokonać dystans dzielący je od jedzenia, narazić się na zimno i wysiłek podczas wydostawania się na zewnątrz,

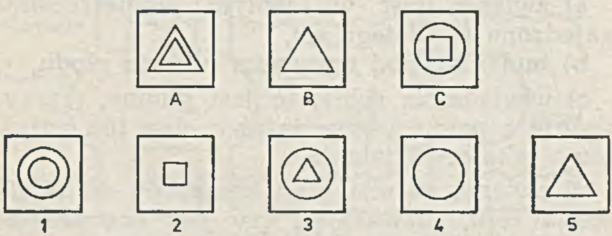
e) zwierzę decyduje się opuścić pomieszczenie, postępuje wg jednego z ułożonych planów i osiąga cel; w momencie zaspokojenia głodu

cel „jedzenie" zostaje zastąpiony przez cel „ciepło",

f) po zaplanowaniu i pokonaniu drogi powrotnej zwierzę wraca do stanu z punktu „a".

Oczywisty sprawdzian zdolności komputerów uzyskano egzaminując je przy pomocy typowych testów na inteligencję. Takich, w których dla określenia spostrzegawczości, umiejętności analizy, syntezy, dokonywania wyboru, oceny itp., kojarzy się słowa, np. w pary „mało—dużo", „źle—dobrze" lub zestawia figury poszukując prawidłowości wynikających z poprzednich układów. Badań takich przeprowadzono bardzo wiele, najbardziej znane wykonane zostały przez Thomasa Evansa. Program Evansa, nazwany Analogy [1] przeznaczony był do rozwiązywania testów geometrycznych przez wyszukiwanie analogii między figurami.

Na rys. 14 program otrzymał test zalecony w 1942 r. przez Ministerstwo Nauki dla studentów pierwszego roku koledżów: „Do jakiej z pięciu figur pasuje figura C, skoro relacja ta jest identyczna jak między figurami A i B?" Analogy bez wahania wskazał figurę nr 4. Przy bardziej skomplikowanych decyzjach pro-



14. Test na inteligencję rozwiązany przez program Analogy

[1] T. Evans, *A Heuristic Program to Solve Geometric Analogy Problems,* Proc. AFIPS, Ann. Spring Joint Computer Conference 1964.

gram ten zniechęcał jednak użytkowników swoją nadmierną złożonością.

Z dalszych prac wynika, że rozproszyły one wysiłki naukowców na różne dziedziny, w których potrzebne były urządzenia rozwiązujące konkretne problemy. Wiele z tych dokonań stało się zresztą podstawą późniejszych sukcesów osiąganych przy komputerowym rozstrzyganiu zagadnień ekonomicznych, technicznych i militarnych. Specyfika tych dyscyplin spowodowała jednak, że trzeba było odstąpić od ściśle zdeterminowanych sytuacji i zająć się przypadkami zbliżonymi do rzeczywistości. Należało brać pod uwagę elementy, które nie zawsze dadzą się przewidzieć, ale mogą mieć istotny wpływ na rezultaty. Zaczęto więc zastanawiać się nad zmianami powstającymi w procesie rozwiązywania problemu przez maszynę w wyniku pojawienia się warunków niepewności. Komputer zdolny do podejmowania decyzji, których następstwa nie są w pełni znane, mógłby okazać się znacznie bardziej przydatny niż „rozwiązywacze problemów" działające w ściśle i do końca określonych warunkach.

Najprostszy proces decyzyjny, czyli wybór jednej z dwu możliwości („tak lub nie", „czarne lub białe") — tzw. wybór binarny — odtworzył w maszynie cyfrowej Julian Feldman.[1] Program przewidywał następne zdarzenie (np. to, czy w kolejnym momencie lampka będzie zgaszona czy zapalona) na podstawie hipotez wysnutych z obserwacji poprzednich sytuacji. Zbiór owych hipotez składa się zatem, powiedzmy, z przepisów: „skoro było jasno, to powinno być ciemno", „skoro było jasno dwa

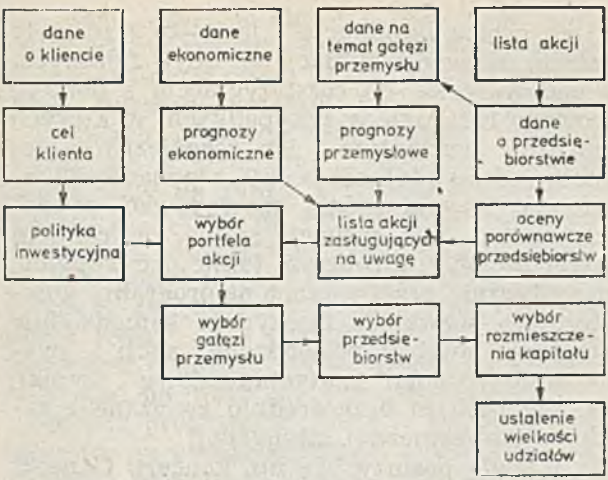
[1] J. Feldman, *Simulation of Behaviour in the Binary Choice Experiment,* Proc. of the Western Joint Computer Conference, 1961.

razy z rzędu, to powinno być dwa razy ciemno", „po jednym wygaszeniu następują zwykle dwa zapalenia". Do tego zbioru dochodził zbiór hipotez przeciwnych, tj. „po zapaleniu powinno być zapalenie", itd. — na wypadek, gdyby włączający i wyłączający światło zorientował się, że maszyna wykryła jego system i zaczął działać na opak; wtedy i maszyna przejdzie na system odwrotny stosując owe hipotezy przeciwne. Modyfikacja hipotez pozwoliła komputerowi na decydowanie z trafnością bardzo niewiele odbiegającą od ludzkich poczynań. Sporo kłopotu sprawił jednak moment przechodzenia na hipotezy zanegowane — maszyna nie zawsze dokonywała tego wtedy, kiedy było trzeba. Doznawała wówczas jakby złudzenia hazardzisty, przekonanego, że kulka ruletki po zatrzymaniu się na dziesięciu czarnych polach musi wreszcie zastopować na białym.

Znacznie praktyczniejszy przedmiot rozważań wybrał prof. Geoffey Clarkson[1] z M.I.T. Stworzył bowiem komputerowy model decydowania o lokatach kapitału bankowego. Banki muszą często tę kwestię rozstrzygać: ile i jakie akcje kupić za pieniądze powierzone im przez klientów. Carlson ustalił warunki najbliższe realnej sytuacji: wybrał średniej wielkości bank i umieścił w pamięci maszyny listę przedsiębiorstw, których akcje należało brać pod uwagę. Przekazał też komputerowi dane o aktualnej sytuacji rynkowej i zasady wyboru dobrej lokaty, przekazując mu schemat procesu podejmowania decyzji przez finansistów (rys. 15).

Tak przygotowana maszyna zmierzyła się z urzędnikiem bankowym, którego wieloletni

[1] G. P. E. Clarkson, *Portfolio Selection: A Simulation of Trust Investment*, Englewood Cliffs, Prentice-Hall 1962.



15. Schemat procesu podejmowania decyzji finansowych przekazany maszynie cyfrowej

staż obdarzył niemal podświadomą umiejętnością korzystnego lokowania kapitału.

Podczas pierwszej próby i urzędnik, i komputer uznali, że najrozsądniej będzie rozdzielić fundusze między pięć przedsiębiorstw. Cztery typowali podobnie, a przy ocenie wysokości lokat zgadzali się w dwóch pozycjach. Druga próba wypadła lepiej. Człowiek i maszyna wybrali dziewięć firm, w tym siedem tych samych i tylko raz ustalili inne sumy wkładu. Próby trzecia i czwarta dały wręcz niewiarygodne wyniki. Ilość i wartość lokat okazały się w obu wypadkach identyczne, a rozbieżność wystąpiła w jednej tylko pozycji — co do wyboru przedsiębiorstwa.

Kilka amerykańskich instytucji zainicjowało w latach sześćdziesiątych stosowanie tzw. tablic decyzyjnych, które zawierały macierzowe zestawienia zasad podejmowania decyzji. Tablice podzielone na parę obszarów i wykorzy-

stujące prostą implikację („jeśli—to") zdawały egzamin w wielu sytuacjach, zbyt złożonych, by nadawały się do rozstrzygnięcia z pomocą zdrowego rozsądku w przypadkach, w których rozmaitość wariantów i ich rozgałęzień przerastała ludzką zdolność oceny, a ponadto każda następna decyzja mogła spowodować, że dotychczasowy opis sytuacji stanie się całkiem bezwartościowy. Zawartość tablic decyzyjnych, automatycznie przetworzona na programy komputerowe, pozwalała maszynom samodzielnie dokonywać analizy prowadzonej akcji i gwarantowała niemal natychmiastowe wyniki, choć nie było to bezpośrednio związane z zagadnieniami sztucznej inteligencji.

Tą metodą posłużył się np. koncern General Electric opracowując w 1960 r. specjalny język programowania Tabsol i wykorzystując maszynę GE-200 do sprawdzenia decyzji zapadających przy produkcji swoich wyrobów. W dwa lata później odbyło się w Nowym Jorku sympozjum na temat komputerowych tablic decyzyjnych. Do Europy ta nowa technika dotarła na początku lat siedemdziesiątych. [1]

Największy na świecie amerykański koncern komputerowy IBM opracował w 1973 r. system dla menadżerów, bo wiadomo, że w tym zawodzie bardziej niż w innych sukces zależy od słuszności podejmowanych decyzji. System — a można się z nim porozumiewać w języku potocznym — posiada odrębny blok, który dokonuje rozbioru gramatycznego zadanych pytań.

System dla menadżerów wypróbowano w warunkach rzeczywistych. Dwudziestu trzech praktyków z dziedziny zarządzania zadało mu

---

[1] J. Niedźwiedzki, *Logiczne tablice decyzyjne. Problemy informatyki*, Ośrodek Badawczo-Rozwojowy Informatyki, Warszawa 1975.

496 pytań, czerpiąc słowa z puli zawierającej 358 wyrazów podstawowych. Niestety, pochłonięci meritum sprawy, klienci nie formułowali żądań starannie, czasem nawet zapominając o kropkach i przecinkach. System mimo to uporał się z pytaniami typu: „Ile bawełny sprzedajemy na rynek Trzeciego Świata?, „Co produkuje zakład nr 4?" oraz z większością pytań typu: „Czy sondaż rynku rokuje nadzieje na duży popyt towaru X?, „Czy zapas surowca Y należy zwiększyć w trzecim kwartale przyszłego roku?" — i zasłużył na umiarkowanie pochlebną ocenę („Będzie bardzo pożyteczny, jeśli uda się wam go wprowadzić").

Spośród programów, które w praktyce zdały egzamin, na uwagę zasługuje DENDRAL, używany do określania rodzaju struktur molekularnych.[1] DENDRAL dysponuje wiedzą chemika analityka o wysokich kwalifikacjach. Mając wyniki badań spektrometrii masowej rozwiązuje problem identyfikacji: rozpoznaje i określa poszczególne związki chemiczne. Składa się z pięciu części: blok wstępnego wnioskowania, korektor danych, generator struktur, predyktor i ewaluator. W bloku wstępnego wnioskowania maszyna interpretuje dane szukając grupy substancji, do której można by je zaliczyć. Korekcja informacji polega na wyborze danych o największych wartościach. Generator struktur wykorzystuje te wiadomości, by przedstawić wszystkie izomery o przypuszczalnie podobnych wynikach analizy widmowej. Przeszukuje następnie owo drzewo izomerów i zestawia listę struktur, które przy istniejących ograniczeniach należy traktować jako poważne kan-

---

[1] B. Buchanan, G. Sutherland, E. A. Feigenbaum. *Heuristic Dendral: A Program for Generating Explanatory Hypotheses in Organic Chemistry*, Machine Intelligence, American Elsevier, New York, 1969.

dydatury. Predyktor działa w kierunku odwrotnym: dla każdej z hipotez wylicza widmo, które tej kandydaturze powinno teoretycznie odpowiadać, to znaczy: przygotowuje materiał porównawczy dla ewaluatora. Ewaluator zestawia teoretyczne widma z widmem uzyskanym empirycznie i w ten sposób testuje hipotezy. W wyniku otrzymujemy listę przypuszczalnych związków chemicznych, rozpoczynającą się od najbardziej prawdopodobnych.

Naukowcom z Akademii Medycznej w Warszawie udało się zastosować maszynę do diagnozowania chorób na podstawie danych analitycznych. Komputer opierając się na wynikach kilku wykonanych w laboratoriach analiz drukuje listę chorób, które w tym przypadku mogą być brane pod uwagę, zaopatrując je w liczby, które określają ich prawdopodobieństwa. W następnej kolumnie prawdopodobieństwa te są korygowane o prawdopodobieństwo częstotliwości tych chorób w ogóle. Dalej mamy modyfikacje uwzględniające moc przeprowadzanego testu, czyli zdolności danego zestawu analiz do wyodrębnienia określonej choroby i w końcu obie te poprawki naniesione zostają na początkową wartość prawdopodobieństwa.

Pierwsze rezultaty komputerowej diagnostyki wypadły nad podziw dobrze. Na sześć próbnych przypadków maszyna rozpoznała poprawnie wszystkie choroby. Żaden lekarz nie byłby zdolny do podejmowania takich decyzji na podstawie wyłącznie analiz laboratoryjnych, bez badań wewnętrznych organizmu, np. nakłuwania wątroby. Następnie dano komputerowi analizy sześciu przypadków nowotworu wątroby i uzyskano pięć prawidłowych diagnoz, niemożliwych do ustalenia bez otwierania jamy brzusznej. Pełnym zaskoczeniem było wykrycie w 15 na 16 przypadków choroby *cholangitis obstructiva*, podczas gdy źródła amerykańskie

oceniają możliwości takiego rozpoznania na nie więcej niż 30%. Ciekawe wyniki przyniosło też zastosowanie gałęzi sztucznej inteligencji, zwanej rozpoznawaniem obrazów, do identyfikacji chromosomów i wczesnych stadiów raka.

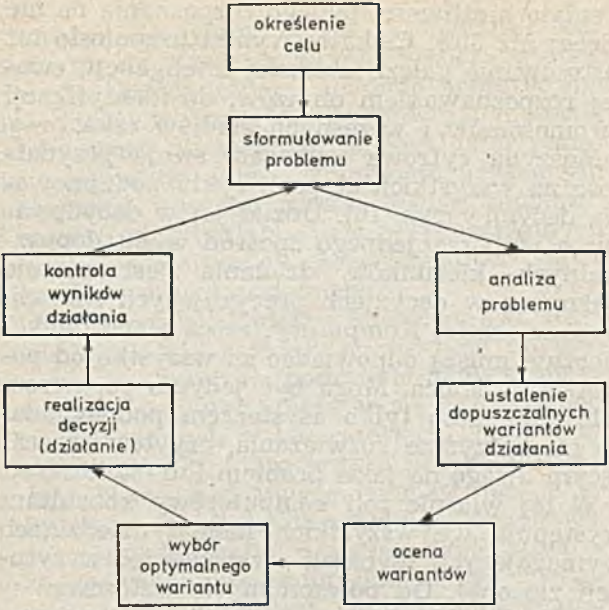
Maszyna cyfrowa wykazała swoją przydatność na wszystkich etapach cyklu podejmowania decyzji[1] (rys. 16). Udział jej w decydowaniu o wyborze jednego spośród wielu dopuszczalnych kierunków działania jest równie ważny co w decyzjach precyzujących sam cel tego działania. Komputery, rzecz jasna, niekoniecznie muszą odpowiadać za wszystko od początku do końca. Mogą być jedynie partnerem człowieka albo tylko asystentem podpowiadającym korzystne rozwiązania, czy też zwracającym uwagę na jakiś problem lub okoliczność.

W tej właśnie roli komputerowy konsultant występuje we wszystkich niemal dziedzinach wymagających szybkich rozstrzygnięć w sytuacji złożonej. Od powszechnych zastosowań w zakładach przemysłowych, systemach wyszukiwania informacji, przy operacjach bankowych i ekonomicznych, w wojsku i polityce, aż po wąskie specjalistyczne przypadki, jak weryfikacja hipotez astronomicznych i ustalenie, kiedy mają być zniszczone dokumenty przechowywane w strzeżonych przez automaty tajnych archiwach.

Aby właściwie zadecydować w skomplikowanej sytuacji, należy zorientować się w problemie i poznać go w każdym szczególe. Jeśli chcemy polegać na decyzji maszyny, musimy wprowadzić do jej pamięci tyle danych, aby wytworzyła sobie najwierniejszy i najpełniejszy obraz sytuacji. W ten sposób powstaje w komputerze jak gdyby model rzeczywistego pro-

---

[1] *Proces decyzyjny,* Europejski Program Badawczy Diebolda, OBRI, Warszawa, 1973, nr 28.



16. Etapy podejmowania decyzji

blemu, jego opis tak dokładny, by zdolny był do zastąpienia samego problemu w różnego rodzaju badaniach. Na komputerowych modelach przeprowadzać można eksperymenty, które w naturze są utrudnione, zbyt kosztowne, albo w ogóle niemożliwe. Metoda ta, zwana symulacją, przeżywa ostatnio ogromny rozwój i staje się jednym z ważniejszych zastosowań maszyn cyfrowych. Zakładane są ośrodki badawcze zajmujące się wyłącznie tym problemem, opracowane są specjalne języki programowania (GPSS, Simula, Simscript, CSL).

Modele komputerowe umożliwiają spojrzenie z lotu-ptaka na rozległe i pogmatwane zagadnienia, a jednocześnie pozwalają skoncentrować się na którymś z wybranych fragmentów dla podejmowania decyzji z dowolnego szczebla

i w rozmaitych aspektach. Matematycy ze Stanford Research Institute, G. W. Evans, G. F. Wallace i G. L. Sutherland, proponują np. system wyszukiwania informacji o wydarzeniach na świecie oraz symulację komputerową decyzji podejmowanych w polityce wewnętrznej i zagranicznej.[1] Na wypadek, gdyby nie były one zbyt trafne, autorzy zamieszczają w swej książce model gry synchronicznej na mapach z uwzględnieniem różnych rodzajów wojsk i szczebli dowodzenia, od dywizji do plutonu. Rzecz rozpatrywana jest z wielu punktów widzenia. W symulacji przebiegu walki można znaleźć model ułatwiający decyzje w czasie bezpośredniego starcia, ocenę elementów ochrony terenowej i ukrycia, widoczności, rozpoznania, celności strzału i szacowanie strat. Jest też symulacja radarowej obserwacji pocisku i przebiegu ewakuowania rannych. Taki model pozwala na przerzucenie w nerwowej sytuacji wielu czynności z dowódcy na maszynę — ludziom pozostają funkcje wykonawcze, a więc walka.

Model procesu ewolucyjnego przedstawił w 1972 r. Konrad Fiałkowski. Ewolucja biologiczna została w nim potraktowana jako specyficzny samosterujący się proces, którego najistotniejsze cechy (możliwość wzrostu, śmierci, rozmnażania) zostały przedstawione w postaci abstrakcyjnych struktur cyfrowych. Maszyna cyfrowa umożliwiła badanie wpływu środowiska na stabilność (zdolność do przeżywania) kolejnych pokoleń tych struktur.

Symulacją innego rodzaju zmagań zajęli się czescy informatycy. Denerwując się przed poprzednimi mistrzostwami świata w piłce noż-

---

[1] G. W. Evans, G. F. Wallace, G. L. Sutherland, *Symulacja na maszynach cyfrowych*, WNT, Warszawa, 1973.

nej, przekazali komputerowi wiosną 1974 r. komplet informacji o uczestnikach rozgrywek. W odpowiedzi maszyna zadecydowała, że zwycięstwo przypadnie drużynie RFN i zdania roztropnie nie zmieniła, mimo że testowano ją paroma różnymi programami. „Wyliczenia te" — powątpiewał korespondent „Trybuny Ludu" — „polscy sympatycy futbolu potraktują w myśl znanego powiedzenia «Poczekamy, zobaczymy, piłka jest okrągła» ..."

Nawet jeśli komputerowe werdykty nie zawsze dorównywać będą ludzkim, to przecież skłaniają one człowieka do krytycznej oceny i doskonalenia własnych zdolności decyzyjnych. Sformułował to trafnie prof. Peter Druckner z Nowego Jorku: „Komputer zmusił nas do uporządkowania samych siebie. Jest on największym formalistą jakiego udało mi się kiedykolwiek widzieć, i na tym polega jego największy wpływ na proces podejmowania decyzji. Zmusza nas do uprzedniego przemyślenia naszych założeń i powoduje, że zdajemy sobie w ogóle sprawę z tego, że przyjmujemy jakieś założenia".

4 OCZY I USZY MASZYNY

Trudno sobie wyobrazić, aby sztuczna bądź naturalna inteligencja mogła powstać w całkowitej izolacji, bez kontaktu ze środowiskiem. Niczym wyspa intelektu samotna w bezmiarze oceanu.

Żadna inteligencja nie może się też rozwijać niezależnie od kształtujących ją elementów zewnętrznych, choćby materiału do doświadczeń lub wzorców do naśladowania. Nawet umysł o niepospolitej sprawności szybko ją straci, jeśli nie będzie pogłębiać wiedzy i uaktualniać informacji. A skoro jest pozbawiony łączności ze światem, nikt nie zdoła tej sprawności docenić.

Inteligentne zachowanie się człowieka w znacznej mierze — jak wiadomo — wynika z jego dawnych i bieżących obserwacji, tyleż co z lektur i rozmów. Na podstawie odbieranych wrażeń dokonujemy analiz i kalkulacji, których umiejętność zdobyliśmy zresztą również dzięki kontaktom z otoczeniem. Działania podejmowane jako rezultat tych procesów, mówienie, pisanie, gdyby były zawieszone w pustce, do nikogo by nie trafiały. Stworzenie maszyny wyposażonej w inteligencję wymaga więc przede wszystkim swobodnej wymiany

informacji zarówno między nią i człowiekiem, jak między nią i środowiskiem, w którym ma funkcjonować.

Świat zdążył się już na dobre oswoić z urządzeniami do zbierania wiadomości na temat zachodzących wokół zjawisk i przekazywania ich człowiekowi. Termometr, woltomierz, zegarek, kamera telewizyjna wychwytują z otoczenia określone informacje i prezentują je nam w postaci najbardziej komunikatywnej. W zautomatyzowanych zakładach przemysłowych zestaw czujników kontroluje newralgiczne punkty linii produkcyjnej i w razie niepożądanych zmian zawiadamia obsługę. Nowocześniejszy wariant polega na tym, że dane te nie wędrują do pracowników, lecz do nadzorującej fabrykę maszyny cyfrowej.

Większość takich urządzeń zbudowano jednak nie po to, żeby usamodzielnić maszynę, ale żeby wesprzeć niedoskonałe zmysły ludzkie. Przez wiele bowiem stuleci poddawaliśmy się złudzeniu, że zjawiska dokoła nas są na tyle złożone, na ile wyglądają. Precyzja przyrządów pomiarowych uświadomiła nam, jak kaczce z bajki Andersena, że świat nie kończy się na płocie ogrodu młynarza. Dowiedzieliśmy się, jak wielu rzeczy nie dostrzegamy i nie słyszymy, zrozumieliśmy, że nasze zmysły, zniekształcając i filtrując odbierane bodźce, stają się często przegrodą między nami i rzeczywistością.

Zgodnie z mniemaniem starogreckim, że nie istnieje w umyśle nic, czego by wcześniej nie poznały zmysły, zaczęto się zastanawiać nad kopiowaniem i jednoczesnym wyostrzaniem owych pięciu zmysłów. Te funkcje zastępcze spełnia, *notabene*, sporo urządzeń, które powstały, zanim odkryliśmy mechanizm odbierania wrażeń przez człowieka. Dopiero po zjawieniu się mikrofonów, fotokomórek i kamer fil-

mowych czy telewizyjnych okazało się, że zasady ich pracy dają się porównać z naturą działania ludzkiego wzroku i słuchu.

Istota odbioru przez nas różnorakich wrażeń jest zresztą podobna. Mózg otrzymuje je w postaci sygnałów elektrycznych o zbliżonym charakterze, niezależnie od tego, czy nadawane są przez nerwy słuchowe czy np. smakowe. Pobudzenie komórek nerwowych — neuronów — odbywa się tak samo: przez naruszenie równowagi elektrochemicznej na granicy błony komórkowej. Połączenie komórek nerwowych przez synapsy i hierarchiczna struktura systemu nerwowego niektórym naukowcom przywodziły na myśl sieć telefoniczną lub złożone układy elektroniczne.

Skojarzenie tym celniejsze, że — w uproszczeniu — neuron (jak maszyna cyfrowa) działa w sposób binarny: reaguje na zasadzie „wszystko albo nic". Bodziec nie powoduje jednak żadnych reakcji w komórce dopóki jego wartość nie przekroczy pewnego progu pobudzenia. Wówczas dopiero neuron „zapala się" i daje w odpowiedzi sygnał o określonym natężeniu, bez względu na to, jak dalece bodziec przekroczył wartość progową. Zjawisko na pozór sprzeczne z naszym codziennym doświadczeniem — możemy przecież odbierać różne wrażenia z różną siłą — wypływające jednak z faktu, że neurony rzadko są pobudzane pojedynczo. Bodziec działa zwykle na grupę neuronów, z których każdy może mieć odmienny od pozostałych próg pobudzenia i wytwarzać w odpowiedzi sygnały o różnym natężeniu. To, co czujemy, jest zatem wypadkową reakcją rozmaitych neuronów i zależy od ilości pobudzonych komórek oraz częstotliwości powtarzania się bodźca.

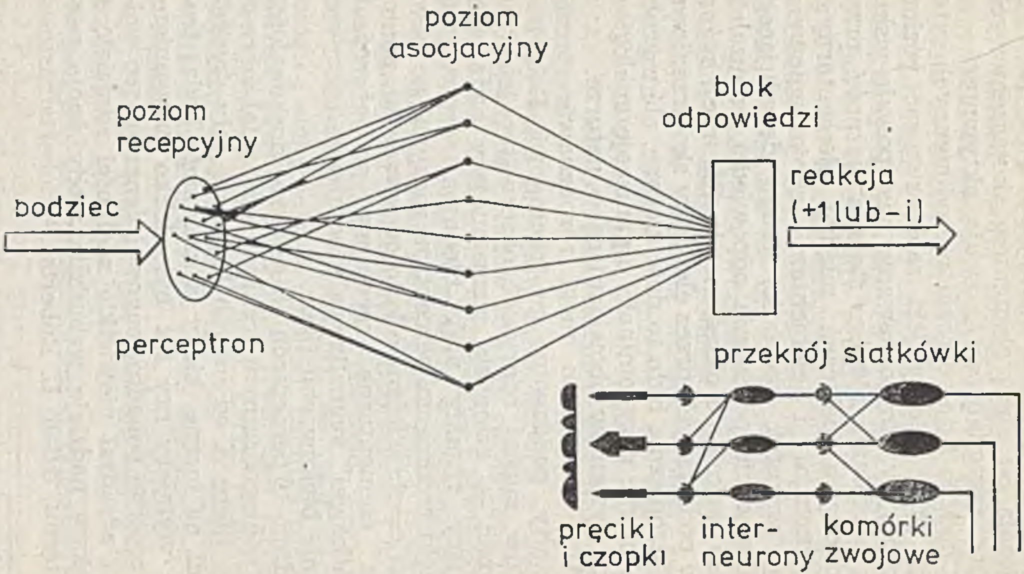
Wyjaśnienie zasad działania neuronów anulowało wysunięte jeszcze przez A. Turinga

zastrzeżenie, że „ciągłego systemu nerwowego nie da się naśladować za pomocą maszyny o stanach dyskretnych”. Rzucające się w oczy analogie między reakcją maszyny i żywego ustroju zachęciły natomiast badaczy do prób odtworzenia układu nerwowego w postaci skomplikowanej sieci elektronicznej. Już w 1949 r. Warren Mc Culloch dostrzegł podobieństwo między systemem nerwowym dżdżownicy a maszyną cyfrową. Wtedy jednak komputery prezentowały się tak skromnie, że zdaniem innych naukowców „porównanie to krzywdziło dżdżownicę”, której system nerwowy jest znacznie lepiej zorganizowany i przewyższa także późniejsze modele sieci o przypadkowych połączeniach, jakie budowano w połowie lat pięćdziesiątych.

Poważniejszą konkurencją dla nerwów dżdżownicy stały się w 1958 r. wyniki eksperymentów F. Rosenblatta: rodzina modeli nerwów wzrokowych, nazwana przez twórcę perceptronami.[1] Najprostszy perceptron (rys. 17) odbierał wrażenia za pośrednictwem „elementarnych receptorów” zgrupowanych na „poziomie recepcyjnym”, czyli na czymś w rodzaju pierwszej warstwy siatkówki oka złożonej z czopków i pręcików. Każdy elementarny receptor — odpowiednik wyspecjalizowanego zakończenia nerwu — był połączony z jakimś „elementem skojarzeniowym” znajdującym się na tzw. „poziomie asocjacyjnym”. Element skojarzeniowy sumował sygnały nadchodzące z kilku receptorów, opatrywał je we współczynnik wagowy i uogólniał w ten sposób informację na temat obserwowanego bodźca. Informacja ta była z kolei przesyłana do bloku

---

[1] F. Rosenblatt, *The Perceptron, a Theory of Statistical Separability in Cognitive Systems*, Cornell Aeronautical Laboratory, Buffalo, 1958.



17. Model perceptronu i uproszczony przekrój siatkówki

formułującego odpowiedź układu na odbierane wrażenie. Wartość odpowiedzi (+1 lub −1) zależała od ilości elementów skojarzeniowych, które zasygnalizowały swoją aktywność.

Chodziło tu o rozróżnienie odmiennych sytuacji, jakie zdolny jest zaobserwować poziom recepcyjny. Rozpoznawanie następowało wskutek określania różnego stopnia ważności przypadkowych połączeń między elementarnymi receptorami i elementami skojarzeniowymi oraz wskutek obecności progu decydującego o momencie powstania odpowiedzi, co uzależniało reakcję od określonej konfiguracji sygnałów podawanych przez elementy skojarzeniowe. Elektronicznie było to dość złożone, ale z grubsza biorąc przypominało organizację analogicznych systemów obowiązującą w naturze.

Aby perceptron mógł rozpoznawać proste kształty, poddawano go treningowi. Rolę trenerów musiał odgrywać obserwator jego poczynań — człowiek, wzmacniający bądź osłabiający sygnały przy błędnym rozpoznaniu. Dzięki treningom perceptron zaczynał po pewnym czasie odróżniać koło od kwadratu, ponieważ elementarne receptory na obrzeżach „siatkówki" sygnalizowały odmienne rozmieszczenie bloków obu figur.

Mimo to perceptron nie osiągnął doskonałości. Po wielogodzinnym treningu odróżniał wprawdzie literę X od innych liter, ale cały wysiłek szedł na marne, kiedy X zmieniało bodaj trochę wymiary czy też było lekko przesunięte. Perceptron ponadto reagował denerwująco wolno i zdradzał niewielkie zdolności rozdzielcze. Większe nadzieje wzbudziła modyfikacja perceptronu, dzieło L. Robertsa.[1] Roberts zastoso-

---

[1] L. G. Roberts, *Pattern Recognition with an Adaptive Network*, IRE, International Convention Record 1960.

wał jednak tzw. połączenia adaptatywne usprawniające reakcje, co sprawiło, że perceptron zatracił swoją podstawową właściwość: przypadkową sieć połączeń. Kolejną, tym razem w pełni określoną wersję perceptronu zaproponował J. Race[1]: użył bowiem odpowiednio rozmieszczonych, regularnych połączeń, aby związać poziom recepcyjny z poziomem asocjacyjnym. Model Race'a nazywany Sophie-1, został przebadany przez maszynę cyfrową, która wykazała, że nadaje się on do identyfikacji znaków przesuniętych względem pozycji będącej uprzednio wzorcem podczas treningu. Ale Sophie-1 była bezradna wobec obrotów, zniekształceń i zmiany wymiarów; bo tego typu korekt dokonuje nie układ receptorów człowieka — jest to zabieg wymagający interwencji mózgu.

Próby opisu procesów zachodzących w neuronie za pomocą układów równań różniczkowych podjęto już w latach trzydziestych i stwierdzono, że rozchodzenie się sygnału wzdłuż neuronu można odwzorować siecią elektryczną złożoną z odpowiednio połączonych oporników i kondensatorów. Problemy te włączono więc do nowej dyscypliny powstałej na pograniczu biologii i elektroniki — bioniki. Bionika rozwinęła się również w Polsce (twórcami modeli sieci neuronowych byli m.in. Jerzy Konorski i Ryszard Gawroński), stąd też w krajowej literaturze można znaleźć sporo wiadomości na ten temat (R. Gawroński[2] np. zamieszcza w swojej bardzo interesującej książce pełny model funkcjonalny neuronu).

W pracach nad urządzeniami doskonalszymi

[1] J. P. A. Race, *Sophie-1*. Oxford Congress of World Organisation of General Systems and Cybernetics 1972.

[2] R. Gawroński, *Problemy bioniki w systemach wielkich*, MON, Warszawa 1975.

od perceptronu, prowadzonych w wielu krajach, starano się precyzować relacje odpowiadające różnym kombinacjom elementarnych receptorów, oprócz połączeń pobudzających stosowano połączenia hamujące itp. Wykorzystywano wyniki badań nad siatkówką kota i żaby, u których zaobserwowano istnienie takich prostych relacji. Niestety rezultaty osiągane przez modelowanie sieci nerwowej były niewspółmiernie nikłe w porównaniu z tym, co uzyskano obierając inne drogi. Niektórzy badacze — myślę przede wszystkim o Minskym i Papercie [1] — orzekli, że nigdy się nie dojdzie do całkowitego sukcesu przez naśladowanie natury. Zdaniem ich, nawet najbogatsze zestawy elementów elektronicznych nie potrafią odwzorować skomplikowanych ludzkich zmysłów, zdolnych do obejmowania całości problemów i do wychwytywania związków między fragmentami rozpoznawanej sytuacji.

Zatem nie plątanina dziesiątków czy setek drucików udających połączenia nerwowe, ani kombinacje tysięcy sztucznych receptorów (pamiętajmy, że nasza siatkówka składa się z około 140 milionów komórek)! Należy zrezygnować z wiernego kopiowania układu nerwowego, wzamian zaś starać się o odtworzenie jego funkcji, sięgając po odmienne metody i potencjalnie silniejsze środki, takie bodaj, jak możliwości obliczeniowe komputerów, zweryfikowane przy wykrywaniu pewnych właściwości obrazów.

Na niewątpliwe, pod tym względem, walory komputerów zwrócił uwagę w 1955 r. Oliver Selfridge. [2] Prace nad rozpoznawaniem sytu-

---

[1] M. Minsky, S. Papert, *Perceptrons*, MIT Press 1969.

[2] O. G. Selfridge, *Pattern Recognition and Modern Computers*, Proceedings of the Western Joint Computer Conference 1955.

acji rozpoczęła maszyna cyfrowa od rzeczy najprostszych — od znaków, które dawały się najłatwiej identyfikować. W 1959 r. grupa robocza MIT pod kierunkiem Bernarda Golda opracowała program Maude (Morse Automatic Decoder), pozwalający maszynie na dekodowanie znaków Morsa.[1] Na pierwszy rzut oka sprawa dość banalna. W alfabecie Morsa wszystko jest dokładnie określone: litery i cyfry mają tu swoje jednoznaczne odpowiedniki, przerwy między literami trwają tyle, co trzy kropki, a między wyrazami tyle, co siedem kropek. Dodajmy, że przecież istnieją urządzenia do przetwarzania nadchodzących ciągów sygnałów w gotowy tekst. Sygnały te są także nadawane automatycznie z innego urządzenia, które zmienia w kreski i kropki wiadomości wystukiwane na klawiaturze. Gdy robiono to ręcznie, natychmiast zjawiały się poważne przekłamania. Najzręczniejszy bowiem telegrafista nie może na dłuższą metę utrzymać nieskazitelnie równych odstępów między sygnałami (długość jednej kropki) ani należytej proporcji czasu trwania kreski i kropki (trzy do jednego). Osłuchany z niedokładnościami człowiek potrafi się w tym zorientować, automat natomiast bezkrytycznie odbiera zniekształcony tekst.

Otóż program Maude odznaczał się taką zaletą, że właściwie rozumiał telegrafistę, nawet jeśli popełniał on wyjątkowo dużo uchybień. Komputer bowiem nie analizował samych sygnałów, lecz wychwytywał prawidłowości rządzące liczbami, które odpowiadają czasom trwania kropek, kresek i przerw między nimi. Rozpatrując, przypuśćmy, sześć liczb repre-

---

[1] B. Gold, *Machine Recognition of Hand-sent Morse Code*, „IRE Translations of Information Theory". 1959 nr 3.

zentujących długości sześciu kolejnych odstępów szukał przerw między literami. Nie ma litery w kodzie Morsa, która miałaby więcej niż sześć znaków, i dlatego w każdej szóstce musi się znaleźć co najmniej jeden odstęp między literami. Można uznać, że będzie nim ten, który trwa najdłużej. Po ustaleniu podziału na litery, sekwencje przypisanych im znaków były porównywane z wzorcami alfabetu Morsa umieszczonymi w pamięci komputera.

Maszyna potrafiła również przystosować się do temperamentu telegrafisty, uwzględnić jego zmęczenie i inne okoliczności, powodujące np., że wysyłane znaki stają się coraz dłuższe. W posługiwaniu się tą formą korespondencji komputer, mimo to, nie mógł się pochwalić takimi wynikami, do jakich bez wysiłku dochodzili intuicyjnie fachowcy z paroletnią praktyką.

Zresztą nawet perfekcja w dekodowaniu sygnałów Morsa nie przyczyniłaby się w większym stopniu do rozwoju prac nad znalezieniem skutecznego sposobu komunikowania się z maszynami. A przecież trudno żądać, abyśmy się na co dzień porozumiewali jak dowódcy marynarki zapisując wszystko w kodzie. Trzeba raczej nauczyć maszynę rozpoznawania znaków, do których jesteśmy przyzwyczajeni: tradycyjnie zapisywanych cyfr i liter. Wówczas można by jej dostarczać informacje w sposób nad wyraz tradycyjny: dając po prostu do przeczytania.

Ponieważ systemy typu perceptron okazały się w użyciu zbyt złożone i mało efektywne, rozwój tego typu programów poszedł raczej po linii zarysowanej wstępnie przez Maude. W ciągu długich lat maszyny cyfrowe w ośrodkach obliczeniowych porozumiewały się ze światem zewnętrznym jedynie za pomocą ko-

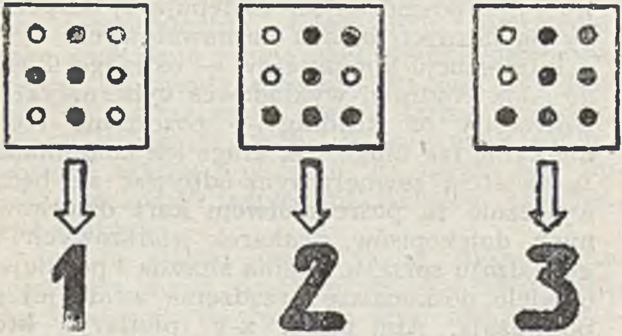
dowanych wiadomości z taśm lub kart papierowych. Każda litera i każda cyfra zajmowały tam osobny rząd, tworząc kombinację dziurek i miejsc pustych w poprzek taśmy. Czytnik komputera oświetlał rząd po rzędzie zamieniając zapis w ciąg impulsów elektrycznych. To samo działo się z kartami dziurkowanymi, tyle że format papieru był inny. O tym, jak powszechnie stosowano ów rodzaj porozumiewania się z komputerami, świadczyć mogą stosy różnokolorowych rolek taśmy dziurkowanej, z powodzeniem zastępującej serpentyny na licznych balach karnawałowych.

Inteligencja komputerów — ostrzegał kiedyś dr Alex Andrew, wykładowca cybernetyki na University of Reading — pozostanie rzeczą nierealną tak długo, jak długo ich komunikacja ze światem zewnętrznym odbywać się będzie wyłącznie za pośrednictwem kart dziurkowanych, dalekopisów, drukarek wierszowych i tego rodzaju sprzętu. Opinia słuszna i późniejsze, o wiele doskonalsze urządzenia wcale jej nie podważają. Ani pisaki x-y (plottery), które umożliwiają maszynie cyfrowej podawanie wyniku obliczeń w postaci rysunku, ani pióra świetlne, którymi operator nanosi poprawki na obrazy wyświetlane przez komputer na monitorach ekranowych, nie zmieniły istoty samego współdziałania, choć bezprzecznie ułatwiły dialog człowiek—maszyna.

Gdyby fotokomórka czytnika, poszukującego dziurek na taśmie papierowej, była bardziej złożona, mogłaby rozpoznać nie tylko kod litery, ale i jej pierwotną postać. Musiałaby wtedy skontrolować kilka najbardziej znaczących punktów na płaszczyźnie, na której pojawia się rozpoznawczy symbol. Przypominałoby to sposób wyświetlania wyników na stadionach sportowych. Na tablicach pojawiają się litery i cyfry w prostokątach złożonych z paru rzę-

dów i kolumn małych żarówek. Każdy ze znaków ma własną kombinację zapalonych żaróweczek. Analogiczną choć nie identyczną zasadę stosuje się przy podawaniu aktualnego czasu w trakcie telewizyjnych *Wieczorów z Dziennikiem.*

Do tej pory mówiliśmy o pokazywaniu znaków. Przy ich rozpoznawaniu powinien następować proces odwrotny (rys. 18) — z tego, gdzie fotokomórka wykryła ciemne punkty,



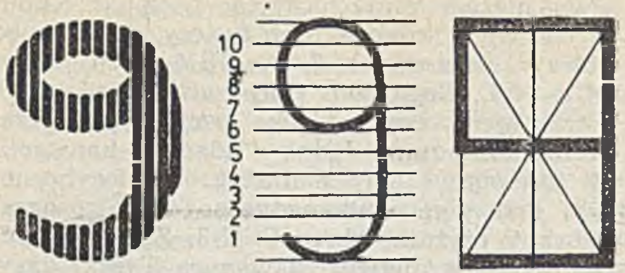
18. Rozpoznawanie cyfr na podstawie punktowego obrazu fotokomórki

trzeba wnioskować, o jaką cyfrę bądź literę chodzi. Łatwiej oczywiście z cyframi — ledwie dziesięć znaków o ściśle określonych kształtach. Dlatego też cyfrowe czytniki optyczne, działające na rozmaitych zasadach, znalazły dziś zastosowanie w wielu kartotekach, bankach i ośrodkach obliczeniowych, są częścią składową przeróżnych segregatorów — m.in. odczytują kod pocztowy na listach — nieraz, dla wygody, wyposażone w dodatkowe środki ułatwiające odczyt (np. atrament magnetyczny).

Czytniki optyczne dawno przestały być przedmiotem eksperymentu; wytwarzane ma-

sowo, nie wywołują niczyjego podziwu. Kupuje się je za kilkadziesiąt tysięcy dolarów od którejś ze znanych firm (IBM 3086, Laser OCR-ONE, Cognitions Corporation model 170) i traktuje zazwyczaj jako peryferyjne urządzenie komputera. Jedną z udanych konstrukcji jest opracowany w Instytucie Biocybernetyki i Inżynierii Biomedycznej PAN programowany czytnik tekstu PCT-3. Zespół pracujący pod kierunkiem Sławomira Tyszki dążył do zbudowania takiego urządzenia, które mogłoby odczytywać standardowe kroje czcionki najpopularniejszych w kraju maszyn do pisania, a jednocześnie rozpoznawałoby znaki pisane odręcznie. Końcowy sukces zespołu należy przypisać zastosowaniu bardzo szybkiego specjalizowanego minikomputera, który wykonuje ponad 5 milionów prostych operacji na sekundę i może współpracować z różnorodnymi urządzeniami zewnętrznymi (dalekopisami, drukarniami itp), co stanowi o dużej wszechstronności całego urządzenia. Czytnik PCT-3 odcyfrowuje od 50 do 80 znaków na sekundę i zastępuje kilkadziesiąt stanowisk ręcznego kodowania danych. Seryjnej produkcji podjęły się już wrocławskie zakłady elektroniczne MERA-ELWRO.

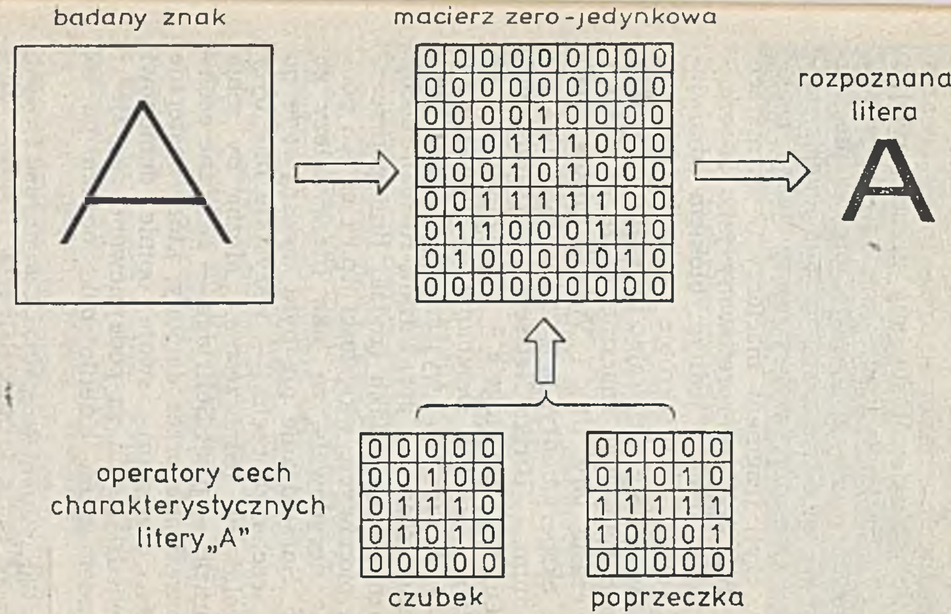
W czasie konstruowania urządzeń odczytujących znaki pisma próbowano różnych rozwiązań. Cyfry przedstawiano w postaci pionowych pasów, dzielono je poziomymi liniami, wpisywano w prostokąt (rys. 19). Największe efekty dała jednak metoda, zgodnie z którą komputer nakładał na płaszczyznę obrazu siatkę i sprawdzał, w jakich sektorach znajdują się fragmenty rozpoznawanego znaku. Idea jest więc taka, jak w przypadku fotokomórki z rys. 18, ale przecież na podobnej zasadzie działa kamera telewizyjna. Dzieli ona obraz na zbiór punktów wyświetlanych później na dwuwymiarowym



19. Różne sposoby automatycznego odczytywania znaków

ekranie telewizyjnym. Leonard Uhr (Uniwersytet Wisconsin), jeden z bardziej zasłużonych badaczy sztucznej inteligencji, przyjął swego czasu koncepcję podziału obrazu na 20 poziomych i pionowych linii. Jeśli przez którąś z tych 400 kratek przechodziła bodaj najmniejsza część linii rozpoznawanej litery, to na tej pozycji zjawiała się cyfra *1*, gdy zaś kratka była pusta — cyfra *0*. Powstała w ten sposób macierz zero-jedynkowa była następnie analizowana przez komputer. Maszyna dysponowała do tego zespołem „operatorów", czyli jak gdyby fragmencików macierzy, w których zawierały się charakterystyczne cechy danej litery (na przykład ostry czubek, połączenia linii pod pewnym kątem, głębokość wygięcia). Operatory te były po kolei przesuwane po macierzy. Jeśli wszystkie (lub zdecydowana ich większość) przyporządkowane określonej literze pokrywały się w jakimś miejscu z zero-jedynkową macierzą badanego znaku, dowodziło to, że mamy do czynienia właśnie z tą, a nie inną literą. Rys. 20 ukazuje, jak wyglądało rozpoznawanie litery „A".

Żeby rozpoznać pojedynczą literę maszyna IBM-709 potrzebowała prawie minuty — program, który Leonard Uhr napisał wspólnie



0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	1	0	0	0	0
0	0	0	1	1	1	0	0	0
0	0	0	1	0	1	0	0	0
0	0	1	1	1	1	1	0	0
0	1	1	0	0	0	1	1	0
0	1	0	0	0	0	0	1	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0

czubek

0	0	0	0	0
0	0	1	0	0
0	1	1	1	0
0	1	0	1	0
0	0	0	0	0

poprzeczka

0	0	0	0	0
0	1	0	1	0
1	1	1	1	1
1	0	0	0	1
0	0	0	0	0

20. Opis litery „A" w postaci macierzy i rozpoznawanie jej za pomocą operatorów wykrywających czubek i poprzeczkę tej litery

z Charlesem Vosslerem obejmował początkowo aż 2 tysiące rozkazów. Wydaje się wręcz rzeczą paradoksalną, że obaj autorzy — twórcy modeli o zupełnie innej naturze rozpoznawania obrazów — upierali się, aby mimo wszystko uważać je za kontynuację linii odwzorowywania sieci nerwowych. Zero-jedynkową macierz starali się więc traktować jak *sui generis* siatkówkę. Operator, wykrywający jakąś cechę litery, czyli fragment macierzy o wymiarach 5×5, miał być interpretowany jako 25 czopków połączonych z jednym blokiem odpowiedzi. Leonard Uhr wkrótce zarzucił takie porównania i stale ulepszając program uzyskał w latach późniejszych znacznie lepsze wyniki.[1]

W czasie gdy Uhr i Vossler rozpoczynali swoje eksperymenty, powstawał program Pandemonium — Ulrika Neissera i wspomnianego już Olivera Selfridge'a.[2] Niezwykła nazwa programu — *Chór Demonów* — tłumaczy się chęcią obrazowego wyjaśnienia istoty jego działania. Maszyna sprawdzała rozmaite cechy rozpoznawanego znaku (rodzaj linii poprzecznych, pionowych, wklęsłości itp.) i na ich podstawie decydowała, za jaką literę należy go uznać. Sprawdzanie nie było wykonywane po kolei, cecha za cechą — wszystkie one były kontrolowane jednocześnie. „Można by sobie wyobrazić — pisał Selfridge — że różne cechy są sprawdzane przez demony, które następnie chórem przekazują swoje opinie demonowi odpowiedzialnemu za podejmowane decyzje".[3]

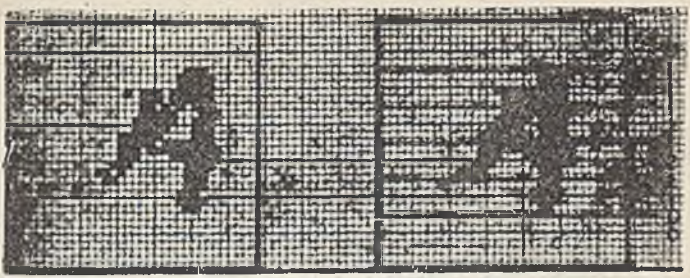
Pandemonium dzieliło boki obrazu na 32

---

[1] L. Uhr, *Pattern Recognition, Learning and Thought*, Englewood Cliffs, Prentice-Hall 1973.

[2] G. O. Selfridge, *Pandemonium: a Paradigm for Learning*. Proceedings of the Symposium on Mechanization of Thought Process, National Phisical Laboratory, Londyn 1959.

[3] Tamże.



21. Program Pandemonium, przed rozpoznaniem, koryguje identyfikowany znak

równe części, czyli sam obraz na 1024 kwadraty. Potem dokonywało korekt w przedstawionej do rozpoznania postaci znaku (wypełnianie luk, usuwanie plamek wypaczających zarys litery) i sprawdzało, czy ma on cechy litery o znanych kształtach (np. przez porównywanie liczby przecięć z liniami poziomymi). Rys. 21 przedstawia rozpracowany przez Pandemonium niezbyt czytelny zarys litery A — znak jest korygowany w dwóch etapach i rozpoznawany przez ustalanie ilości przecięć z liniami poziomymi prowadzonymi na różnych wysokościach. Program ten miał wiele usterek, nie potrafił odczytywać zwartego tekstu — symbole musiały być dostarczone pojedynczo, ale dla alfabetu zredukowanego do 10 liter (a, e, i, l, m, n, o, r, s, t) osiągnął rezultaty tylko o 10% gorsze od człowieka.

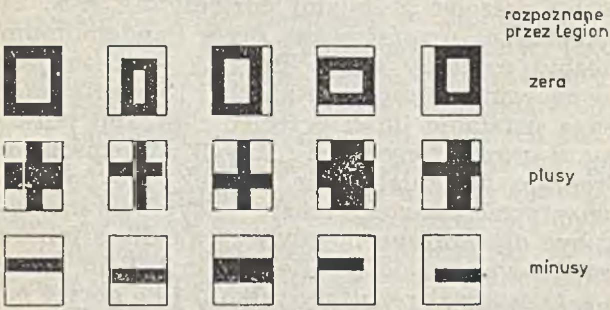
Było to bardzo istotne, zwłaszcza przy rozpoznawaniu znaków pisanych ręcznie, a więc przysparzających więcej trudności. Zresztą i znaki drukowane sprawiały też niemało kłopotu: rozmaite kroje i wymiary czcionek, przesunięcia i obroty. Zdarzało się nieraz, że jakaś całkiem inna litera miała więcej wspólnego ze wzorcem niż odpowiadający mu rozpoznawany znak. Wzorzec litery C z rys. 22 nie pozwa-



22. Czasem litera „G” ma więcej wspólnego z wzorcem „C” niż odpowiadający mu znak napisany inną czcionką lub przesunięty

la wykryć znaku napisanego mniejszą czcionką i lekko skręconego, popełnia zaś błąd reagując na dość podobną literę G. Dopiero niedawno pojawiły się programy, które wyrokują prawidłowo nawet w przypadku rozmaicie drukowanych znaków. Np. program Legion napisany przez Martina Ellersa daje właściwe odpowiedzi w sytuacjach z rys. 23.

Tego typu nieporozumienia wydają się jednak błahostką w porównaniu z niespodziankami, jakie przynosi pismo odręczne. Ileż w



23. Rozmaicie drukowane znaki, które program Legion poprawnie rozpoznał jako zera, plusy i minusy

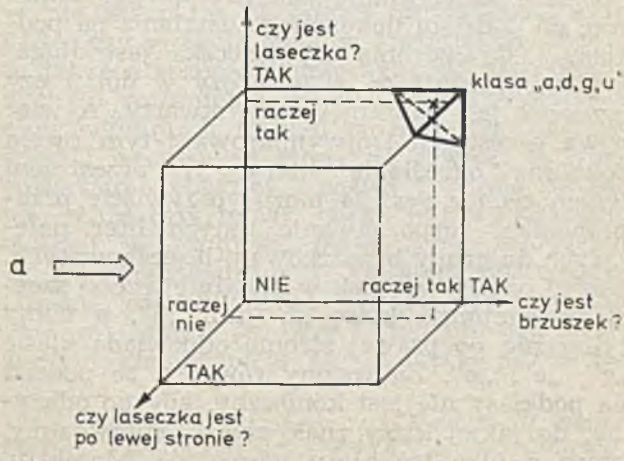
nim bowiem nieregularności, ile odmian w kształcie tej samej litery, nie mówiąc już o wyjątkowo niewyraźnych „lekarsko-aptekarskich” charakterach pisma, trudnych do odczytania przez samych autorów.

Omówiony poprzednio program Uhra po zmodyfikowaniu dawał sobie nieźle radę z od-

czytywaniem ręcznie pisanych liter. Ulepszona wersja programu określiła prawidłowo 96% spośród nie znanych liter należących do 26-literowego alfabetu. Chyba godne podziwu, zważywszy, że przy ocenie pojedynczych liter i cyfr wyrwanych z kontekstu formularzy i ręcznie wypełnianych ankiet ludzie mylą się w 3% przypadków.

Późniejsi eksperymentatorzy przeważnie nie wymagali od maszyny jednoznacznej i pełnej identyfikacji kształtu liter pisanych właśnie ze względu na ich zróżnicowany charakter. Poprzestawali raczej podobnie jak Selfridge w Pandemonium na wyodrębnianiu pewnych cech danej litery. Jeśli stwierdzano, że większość tych cech rzeczywiście występuje w rozpatrywanym obrazie, to „chór demonów" orzekał z wystarczającym prawdopodobieństwem: „Mamy do czynienia właśnie z tą literą".

Całe zagadnienie sprowadzało się zatem do podejmowania — w warunkach niepewności



24. Topologiczna interpretacja rozpoznawania znaków

— decyzji o przydzieleniu rozpoznawanego znaku do jednego z kilku wzorców. Aby zmniejszyć liczbę możliwych decyzji, grupowano też wzorce w „klasy rozpoznania" zawierające po parę podobnych liter, co znacznie upraszczało poszukiwania. Zadanie to można było interpretować topologicznie jako znalezienie punktu odpowiadającego badanemu znakowi w przestrzeni wielowymiarowej, której współrzędne symbolizowały rozpatrywane cechy. Na rys. 24 oznaczono krzyżykiem położenie punktu, który odpowiada niezdarnie napisanej małej literze „a". Badanie dotyczyło dwóch cech: brzuszka i laseczki, ściślej: strony, po której laseczka została dostawiona. Maszyna stwierdziła, że laseczka na pewno jest, ale co do brzuszka i usytuowania laseczki nie była w stu procentach przekonana. Wystarczyło to jednak do zakwalifikowania znaku do klasy, w której znajdują się litery: „a," „d," „g," „u" — w trójwymiarowej przestrzeni cech klasa ta zajmuje górny róg w tyle sześcianu decyzyjnego.

Dalsze postępowanie maszyny powinno zmierzać do podziału dokonanego ustalenia na podklasy i sprawdzenia czy laseczka jest długa, krótka, przedłużona w górę czy w dół, i czy brzuszek jest zamknięty czy otwarty. A więc nowa przestrzeń trójwymiarowa i tym razem dokładne określenie litery. W przestrzeni trzech cech z rys. 24 można oczywiście przeprowadzać rozpoznawanie innych liter należących do grupy brzuszkowato-laseczkowatych. Górny prawy wycinek w przedniej części sześcianu obejmuje klasę „b" lub „p", a dolny tylny róg po prawej stronie odpowiada klasie „c", „e", „o". Zauważmy również, że podział na podklasy nie jest konieczny, gdy po odkryciu, do jakiej klasy znak należy, sprawdzimy, która z liter tej klasy pasuje do kontekstu.

Ale wymaga to od komputera zapamiętywania wzorców całych wyrazów i przenosi nasze rozważania na nieco wyższy poziom. Przy rozpoznawaniu całych słów, choćby podczas automatycznego tłumaczenia, można sobie pozwolić na niepełną identyfikację niektórych liter — maszyna zrozumie mimo to znaczenie wyrazu. W trzyliterowym słowie, gdzie bez żadnych wątpliwości udało się ustalić, że dwa pierwsze znaki to „k" i „o", a trzecim jest niewyraźne „t", maszyna bez wahania wydrukuje „kot", odrzucając mechanicznie możliwość rozpoznawania w ostatniej literze niezbyt foremnego „r", bo zdaniem maszyny nie miałoby to sensu.

Wszystkie sygnalizowane wyżej zagadnienia dotyczą „rozpoznawania obrazów" — tak bowiem określa się zazwyczaj tę gałąź sztucznej inteligencji. Nazwa dobrana niezbyt szczęśliwie: po pierwsze — sugeruje przede wszystkim związki z malarstwem (aczkolwiek i takie były — przytoczmy program odróżniający dzieła Matisse'a od dzieł Picassa), [1] po drugie — nie wskazuje, że oprócz identyfikacji cyfr i liter czy w ogóle znaków graficznych, chodzi tu także o rozpoznawanie sytuacji przestrzennych, o rozumienie mowy. Przy automatycznym odbieraniu doznań smakowych, dotykowych i węchowych mówi się również o „rozpoznawaniu obrazów", nazwa powinna by zatem objąć cały temat, jakim jest wyposażanie maszyn w zdolności percepcyjne człowieka. E. A. Feigenbaum i I. Feldman dostrzegają „bliskie pokrewieństwo między pracami nad rozpoznawaniem obrazów i studiami nad świadomym zachowaniem się", co przemawiałoby

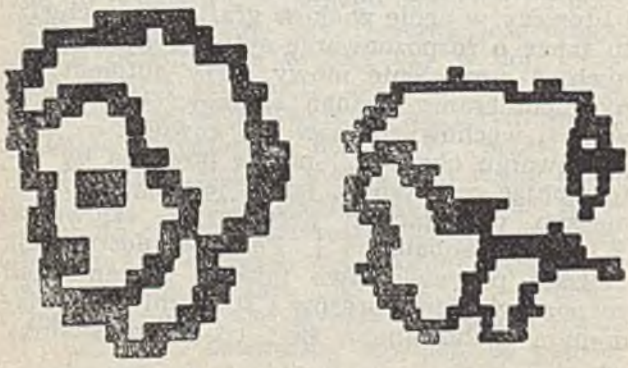
---

[1] A. Gamba, L. Gamberini, G. Palmeri, R. Sanna *Further Experiments with PAPA*, „Nuovo Cimento" 1961, nr 20.

na korzyść obowiązującej nazwy angielskiej *pattern recognition*, znacznie trafniejszej, choć nieporęcznej w tłumaczeniu na język polski (rozpoznawanie wzorców? form? postaci?).

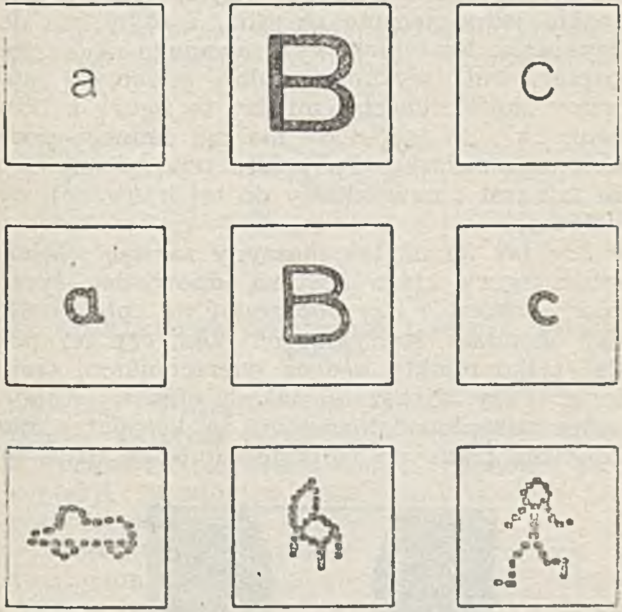
Każdy problem z zakresu *pattern recognition* wymaga od maszyny postępowania niemal analogicznego do pracy przy rozpoznawaniu liter. Nie znaną formę trzeba najpierw znormalizować (w przypadku znaków pisma: zmienić rozmiar, przesunąć, obrócić, podkreślić kontury, usunąć zanieczyszczenia itp.), potem porównać cechy tej formy z zapamiętanymi wzorcami i ocenić, do którego pasuje najbardziej. Ujmując rzecz najogólniej: chodzi o przetworzenie zjawisk pojawiających się na wejściu maszyny w odpowiadające im nazwy, opisy, działania, które powinny im odpowiadać lub jakieś szczególne sygnały wyjściowe. Zjawiska mogą być rozmaite — ważny jest raczej sposób ich przetwarzania.

Już Uhr i Vossler wychodzą z założenia, że to, co się rozpoznaje jest mniej istotne od metody, jaką się tego dokonuje, i swój, pierwotnie przeznaczony do rozpoznawania liter, pro-



25. Obrazy wybrane z gazety, przetworzone przez maszynę na macierz o wymiarach pól 20×20 i rozpoznane przez komputer jako ludzkie twarze

gram zastosowali przy identyfikacji obrazów rodem z komiksów i prospektów handlowych. Maszyna musiała wyszukiwać na nich buty, samochody czy drzewa i robiła to z siedemdziesięcioprocentową dokładnością. Rys. 25 ukazuje wynik tego eksperymentu, najczęściej cytowany: kształty wybrane z gazety zamie-



26. Rezultaty osiągane przy rozpoznawaniu przez maszynę różnego typu obrazów. Rząd górny: litery drukowane (ponad 95% poprawnych odpowiedzi); rząd środkowy: litery pisane (ponad 90% poprawnych odpowiedzi); rząd dolny: rozpoznane zarysy prostych obrazów — samochodu, krzesła, człowieka (ponad 70% poprawnych odpowiedzi)

nione na zbiór kwadracików w macierzy o 20×20 polach, rozpoznane jako ludzkie twarze. Na rys. 26 natomiast widzimy, jakie

rezultaty osiągano w ostatnich latach przy rozpoznawaniu obrazów różnego typu.

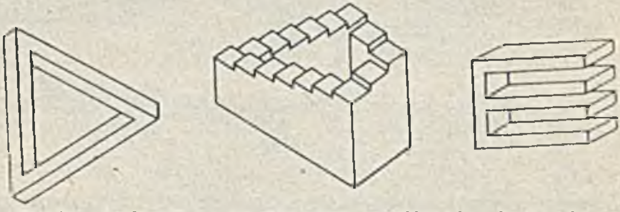
Naukowcy, usiłując te wyniki polepszyć, stanęli przed tzw. problemem reprezentacji wiedzy. Trzeba było rozstrzygać, jakie cechy są reprezentatywne dla rozpoznawanego obiektu, to znaczy, decydujące o tym, że maszyna, po stwierdzeniu istnienia owych cech, będzie mogła jednoznacznie określić, z czym ma do czynienia. Na widok wyrysowanego na kartce papieru koła myślimy „koło", piszemy i mówimy „koło", chociaż między tą figurą a literami „k", „o", „ł", „o" nie ma żadnego podskórnego związku. Po prostu umówiliśmy się, że tak jest i nawykliśmy do tej konwencji od dziecka.

Ale jak na użytek maszyny zapisać właściwości figury, która powinna odpowiadać wyrazowi „trójkąt"? Czy poprzestać na opisie pola, czy odcinków stanowiących boki, czy też podać tylko punkty będące wierzchołkami trójkąta? Przy większości takich opisów istnieje spore prawdopodobieństwo, że komputer nie rozpozna pewnych trójkątów lub, że uzna za



27. Wazon czy dwa profile? — rozstrzygnąć może tylko autor rysunku

tę figurę coś, co trójkątem nie jest. Przypomnijmy, że znaczenie wielu obrazów nie jest obiektywnie jednoznaczne, że zależy od ludzkiej interpretacji. Na przykład umyślnie chyba do tego celu stworzony rys. 27, który można by określić albo jako dzbanek, albo jako dwa zwrócone ku sobie profile. „Niemoc” maszyny w tym względzie można łatwo wykazać podsuwając jej rysunki obiektów nie istniejących w rzeczywistości — powiedzmy: bryły, których przestrzenna realizacja jest niemożliwa



28. Bryły, których przestrzenna realizacja jest niemożliwa

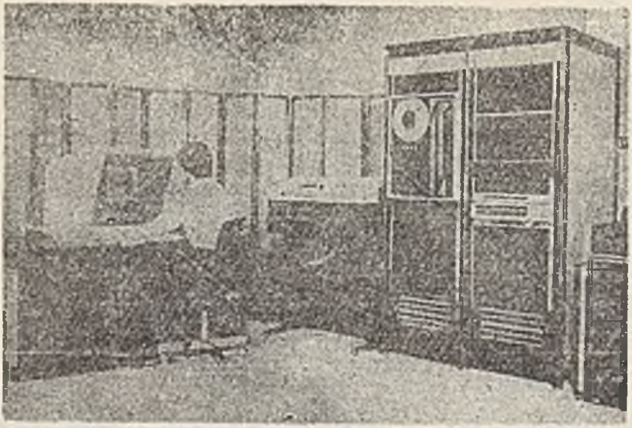
(rys. 28) lub grafiki Eschera. Ale takie „zwodzenie” maszyny wkrótce nie będzie już łatwe, bo prowadzi się prace nad systemami reprezentacji, w których maszyna wykazuje nierealność podobnych konfiguracji. [1]

Laboratoryjne systemy są rozchwytywane i natychmiast wprzęga się je do pracy. Interesują się nimi szczególnie spece od kryminalistyki. Rys. 29 przedstawia system PRINTAH, oparty na minikomputerze PDP 11/34, i przeznaczony do rozpoznawania odcisków palców. Przed podjęciem decyzji system może uzupełniać ślady mniej wyraźne.

W innym systemie OLPARS, opracowanym

---

[1] D. A. Huffman, *Impossible Object as Nonsense Sentences*, „Machine Intelligence”, Uuniversity Press, Edinburgh 1971, nr 6.

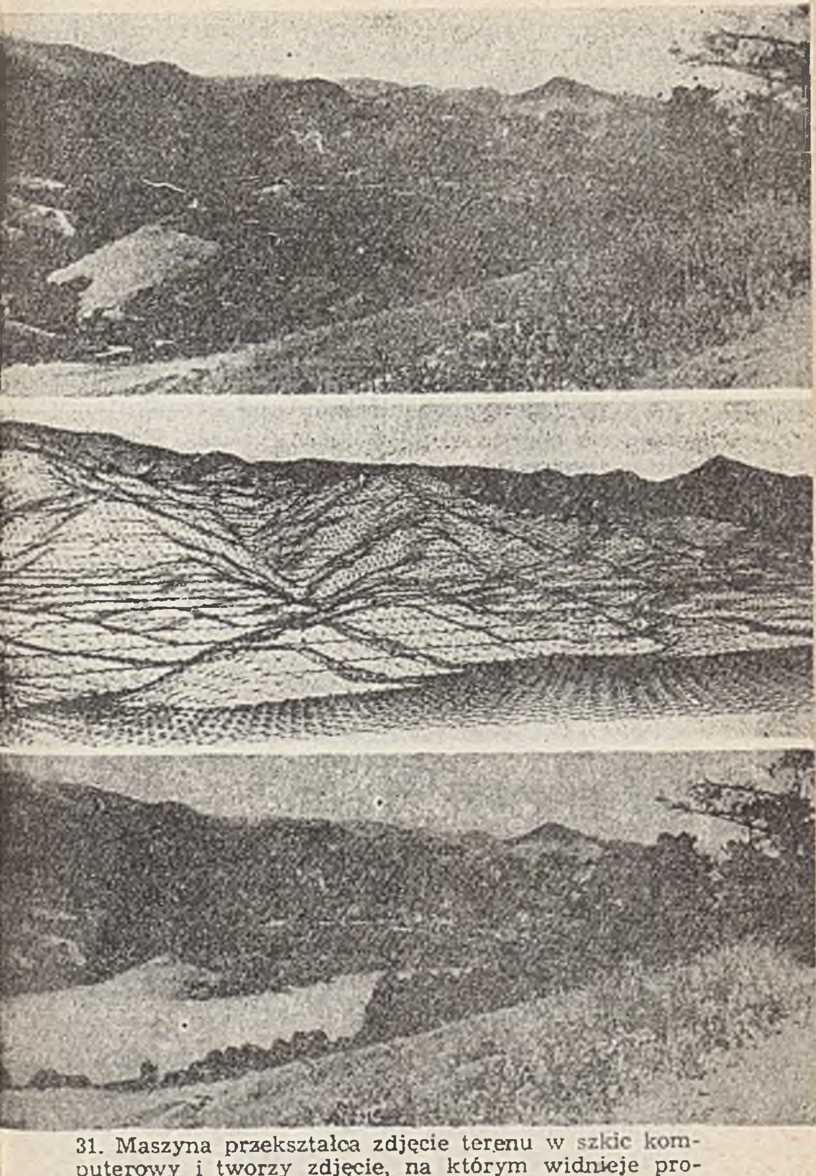


29. System PRINTAH oparty na minikomputerze PDP-11/34 przeznaczony do rozpoznawania odcisków palców



30. Przed rozpoznaniem system PRINTAH uzupełnia ślady mniej wyraźne

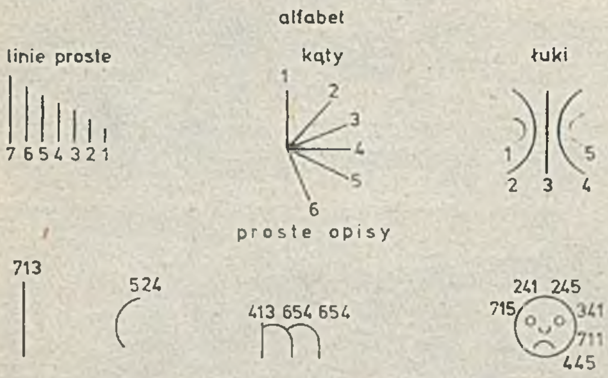
w 1972 roku przez Laveena N. Kanola, komputer, na podstawie linii papilarnych dłoni podaje rodzaj chorób przebytych przez organizm ludzki (co zakrawa niemal na wróżbiarstwo) (rys. 30). Drugim poważnym odbiorcą jest kartografia: używa się tu maszyn do przerabiania zdjęć na mapy (nie tylko dwuwymiarowych zdjęć lotniczych powierzchni ziemi, lecz



31. Maszyna przekształca zdjęcie terenu w szkic komputerowy i tworzy zdjęcie, na którym widnieje projektowany zalew

i trójwymiarowych obrazów topograficznych). Na rys. 31 widzimy, jak uzyskano zdjęcie jeziora, które jeszcze nie istnieje. Zdjęcie terenu maszyna przekształciła w szkic konturowy i wykorzystała go by odtworzyć zdjęcie, na którym widnieje projektowany zalew.

Nie szczędzono też wysiłków zmierzających do znalezienia nowych, możliwie najbardziej wszechstronnych sposobów identyfikacji. Zrodziła się m.in. koncepcja ułożenia czegoś na kształt „prymitywnego alfabetu" — inaczej — zbioru podstawowych linii, na jakie dałoby się podzielić rozpatrywane obrazy. Jeśli poszczególnym liniom tego alfabetu podporządkujemy kolejne cyfry, to otrzymamy obraz zapisany jako pewna kombinacja cyfr. Oto alfabet zaproponowany przez Uhra i kilka obrazków opisanych tą metodą na rys. 32.



32. Zbiór podstawowych linii — „alfabet", z którego można tworzyć opisy cyfrowe prostych rysunków. Pierwsza cyfra tego opisu określa długość, druga — kąt, a trzecia — krzywiznę

Kiedy zamierzamy coś zmienić, warto to coś dokładnie przedtem poznać. W myśl tego stwierdzenia można by więc założyć, że przetwarzanie obrazów jest następnym, wyższym

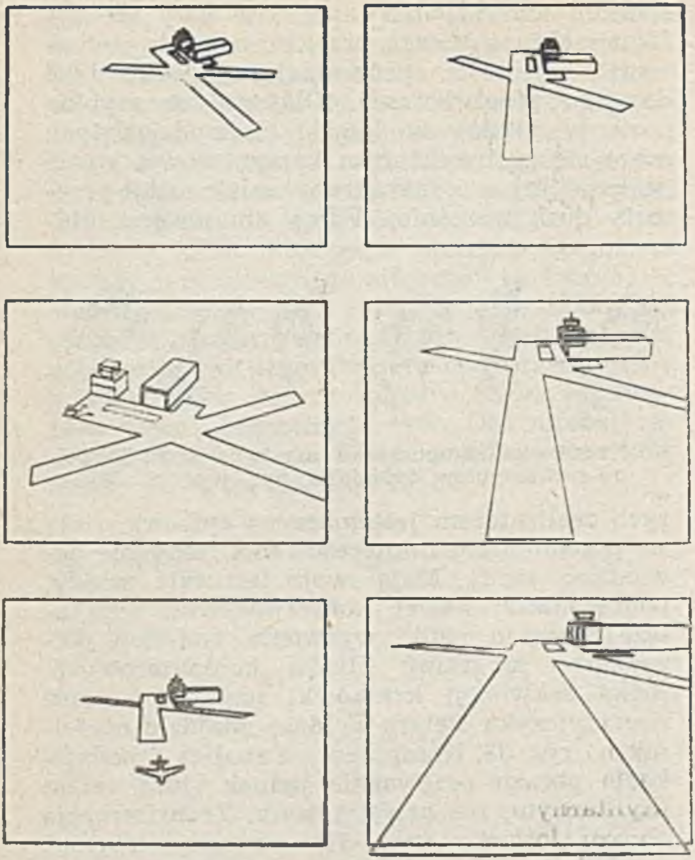
stadium ich rozpoznawania. Ale przy identyfikacji obrazu nieraz przecież należało wykonywać czynności, sprowadzające się właściwie do jego przetwarzania. Dlatego też szybkie postępy, jakimi w latach siedemdziesiątych może się pochwalić film komputerowy, wcale nie powinny nas zaskakiwać: szlak został przetarty dużo wcześniej. Filmy animowane, któ-



33. Kreskówka komputerowa uzyskana przez P. Foldesa (*Computer Animation*, cyt. wyd., s. 38)

rych realizatorem jest maszyna cyfrowa, stały się przedmiotem zainteresowania, żeby nie powiedzieć: mody. Mają swoje festiwale, szkoły, podręczniki [1]; nawet konserwatywne londyńskie muzeum nauki wyświetla non-stop półgodzinne programy filmów komputerowych. Kilka sekwencji kreskówki uzyskanej przez Kanadyjczyka Petera Foldesa znajdzie czytelnik na rys. 33. Komputerowa analiza i modyfikacja obrazu przeważnie jednak służą celom utylitarnym, nie artystycznym. Transformacja obrazu lotniska (rys. 34) ma nas utrzymać w złudzeniu, że oglądamy je z różnych wysokości i pod różnymi kątami widzenia, tak jak widzi je pilot obserwujący teren podczas lądowania. Autor przykładu, Sherwood A. Anderson, posłużył się systemem IBM 1130/2250 i nie oszczędził maszynie trudu: musiała ona dodatkowo uwzględnić startujący jednocześnie z lotniska inny samolot.

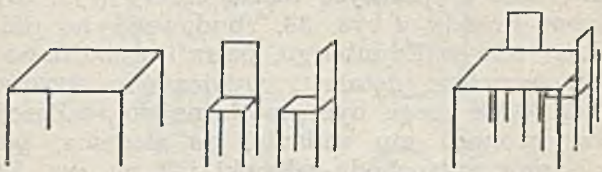
[1] J. Halas (ed.), *Computer Animation*, Focal Press, Londyn 1974.



34. Komputerowa transformacja obrazu lotniska, jak gdyby obserwacja terenu dokonywana oczami pilota podczas lądowania. (*Computer Animation*, cyt. wyd., s. 76).

Drobny to szczegół, ale komplikuje zadanie znacznie bardziej, niż można by przypuścić. Rozpoznanie kształtu dwóch obiektów, każdego z osobna (np. stołu i krzesła), to nie to samo, co rozpoznanie obu równocześnie na jednym

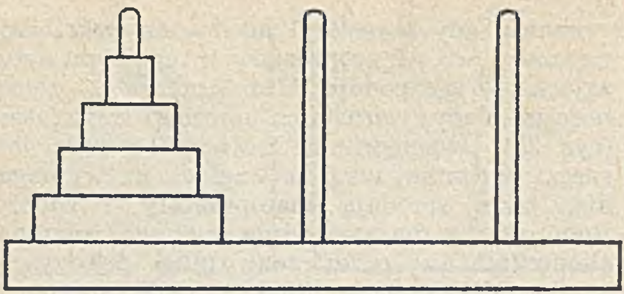
rysunku, gdy ponadto kontury ich pokrywają się częściowo. W najprostszych tego typu sytuacjach — jak podaje Alex Andrew — złożoność problemu wzrasta co najmniej trzykrotnie (rys. 35). Uwzględnianie trójwymiarowości jest rzeczą ogromnej wagi ze względu na wymagania, jakie stawiają manipulatory i roboty. Robot, który ma swobodnie operować różnymi elementami w przestrzeni, musi dokonywać tzw. analizy sceny: zdawać sobie sprawę z kształtu przedmiotów i wymiaru pomieszczenia, w którym te przedmioty się znajdują.



35. Jeżeli przedmioty, które mają być rozpoznawane, są częściowo sobą nawzajem przesłonięte (prawa strona rysunku), ich identyfikacja jest dla maszyny znacznie trudniejsza

Zagadnienie to wystąpiło już we wcześniejszych eksperymentach ze sztuczną inteligencją. Omówiony szeroko w poprzednim rozdziale program GPS był użyty do rozwiązania układanki nazwanej *Wieża w Hanoi*, choć wówczas sprowadzał się do procesów decyzyjnych, nie wymagających rozpoznawania obrazu. „Wieża" składa się z trzech patyczków; na pierwszym są założone cztery krążki (rys. 36). Przekładając po jednym krążku na któryś z dwóch pozostałych patyczków, należy przenieść całą „Wieżę" na patyczek ostatni. Warunek jest tylko jeden: nie wolno umieszczać większego krążka na mniejszym.

Umiejętność radzenia sobie w bardziej skomplikowanych przypadkach tego typu, wsparta sprawnością manualną współczesnych robo-



36. *Wieża w Hanoi*

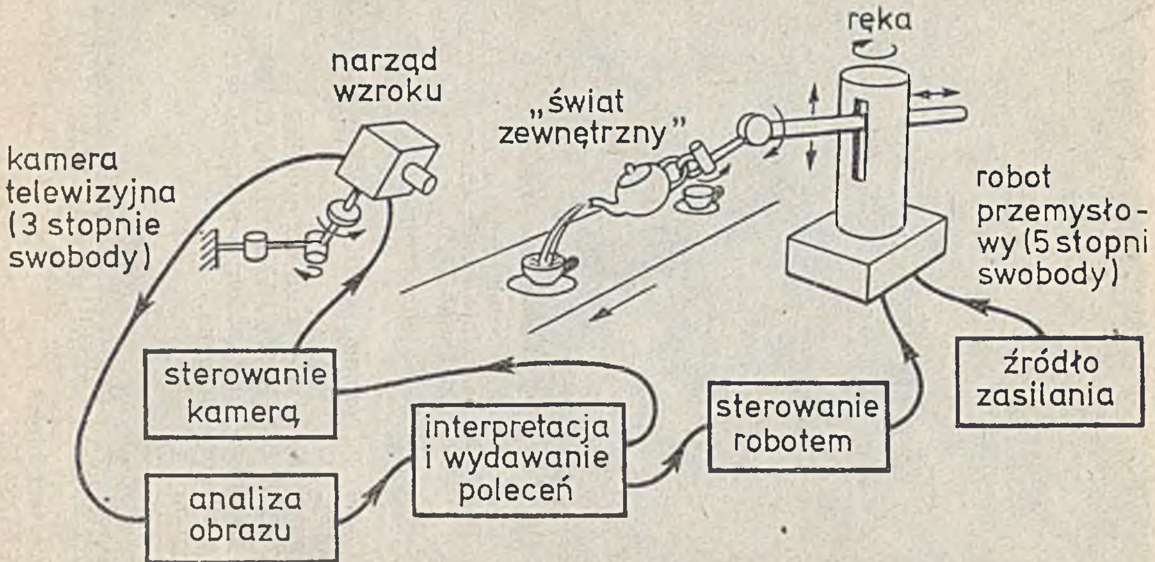
tów, dała w praktyce niezłe efekty (rys. 37). Robot Freddy z rys. 38, zbudowany na uniwersytecie w Edynburgu, potrafi rozpoznawać różnokształtne detale i wybiera te spośród nich, które mogą być przydatne do realizacji powierzonego mu zadania, do złożenia, powiedzmy, samochodu-zabawki jak na rys. 39.

Rozmieszczeniem w przestrzeni prostopadłościanów i ostrosłupów posłużył się Terry Winograd [1] w programie napisanym w M.I.T. Ten jeden z najlepszych przykładów na bezpośredni dialog człowiek—komputer, choć tematycznie pasuje być może bardziej do rozdziału przedostatniego, jest dobrą ilustracją podejmowania decyzji przez maszynę. Nie wdając się więc w bliższe szczegóły wyobraźmy sobie komputer kierujący pracą robota, który przestawia dwie piramidki i cztery prostopadłościenne bloki! Dzieje się to na małym obszarze, gdzie znajduje się jeszcze spore pudełko — sytuację tę maszyna wyświetla na ekranie monitora (rys. 40). Człowiek wydaje pierwsze polecenie: [2]

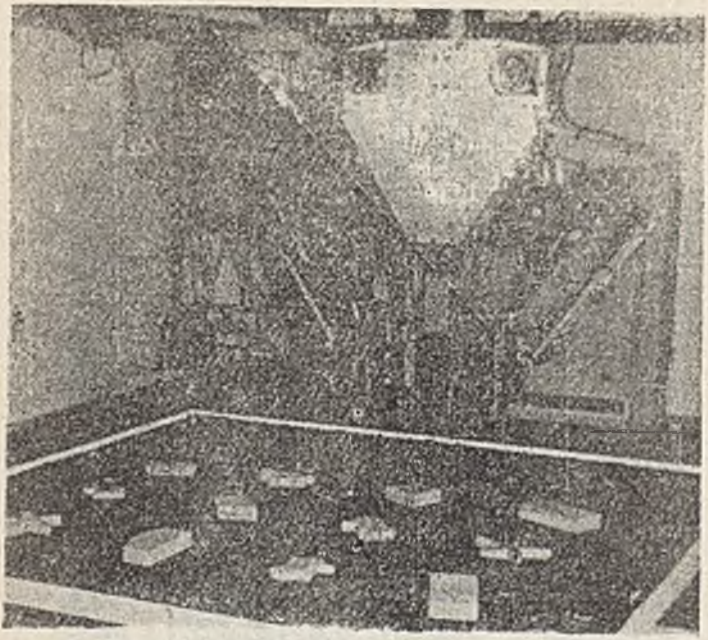
---

[1] T. Winograd, *Understanding Natural Language*, University Press, Edinburgh 1976.

[2] Wypowiedzi człowieka drukowane są literami małymi, maszyny — dużymi, a komentarz — pochyłymi.

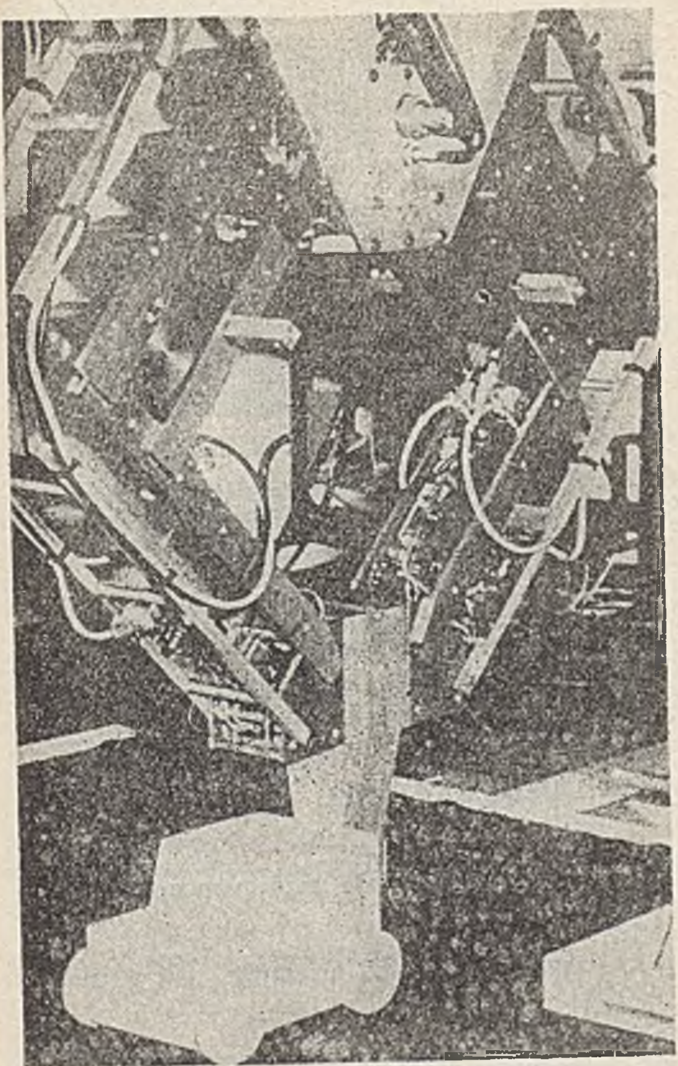


37. Analiza sceny i rozwiązywanie złożonych procesów decyzyjnych, wsparta sprawnością manualną współczesnych robotów, daje w praktyce niemałe efekty

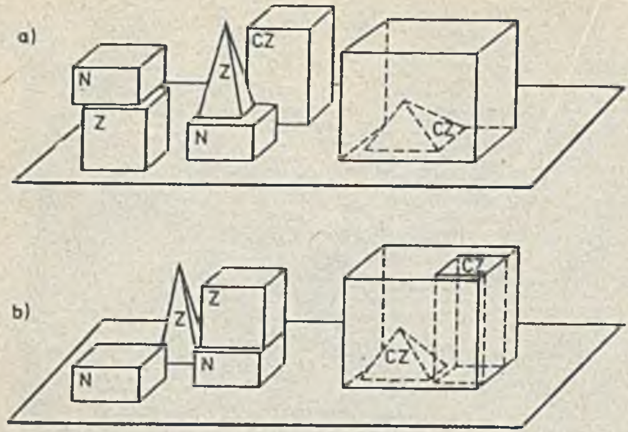


38. Freddy rozpoznaje kształt detali i ich twardość (D. Michie, *On Machine Intelligence*, University Press, Edinburgh 1974)

Wybierz wysoką zieloną piramidę.
OK.
Maszyna odpowiada „OK" po wykonaniu rozkazu.
Odszukaj blok i włóż go do pudełka.
NIE ROZUMIEM, O JAKI BLOK CHODZI.
Na planie są cztery bloki i maszyna jest na razie zdezorientowana.
Czerwony.
OK.
Co jest w pudełku?
CZERWONA PIRAMIDA I CZERWONY BLOK.
Gdzie jest blok?
W PUDEŁKU.



39. Freddy składa samochód-zabawkę z rozpoznanych wcześniej detali (D. Michie, cyt. wyd., fot. 11.)



40. Komputer kieruje pracą robota, który: a) zastaje określoną sytuację i b) po uwzględnieniu wydanych poleceń, przetwarza ją, zmieniając układ detali

Poprzednio program nie wiedział, o jaki blok chodzi, teraz zakłada, że mieliśmy na myśli wymieniony ostatnio blok czerwony.
Ile bloków jest poza pudełkiem?
TRZY.
Czy któryś z nich jest niższy od piramidy, jaką miałeś wybrać?
TAK, NIEBIESKI BLOK.
Na czym on stoi?
NA ZIELONYM BLOKU.
Czy można go podnieść przy pomocy zielonego bloku?
NIE.
Czy można ustawić piramidy jedną na drugiej?
NIE WIEM.
Pytanie jest sensowne z semantycznego punktu widzenia, ale maszyna nie znajduje wśród dotychczasowych konfiguracji przykładu, który by to potwierdzał.

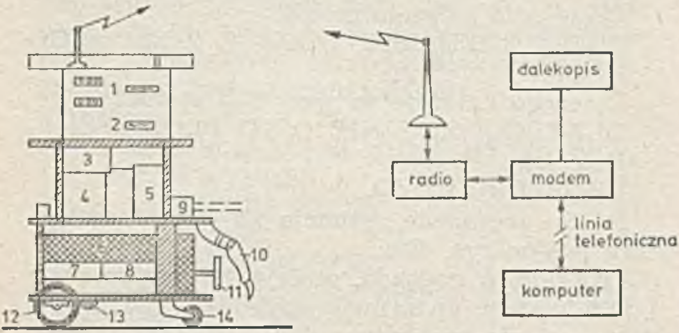
Spróbuj ustawić je w ten sposób.
NIE MOGĘ.
Robot próbuje bez powodzenia.
Czy oprócz wysokiej piramidy na stole są jeszcze jakieś wysokie elementy?
TAK, ZIELONY BLOK.
Postaw zielony blok na niebieskim bloku.
NA KTÓRYM.
Są dwa niebieskie bloki.
Na tym, na którym stoi piramida.
OK.
Zadanie jest złożone — należy sprawdzić, jak robot je wykonał.
Czy przenosiłeś jakąś piramidę?
TAK, WYSOKĄ ZIELONĄ PIRAMIDĘ.
Dlaczego?
ABY SIĘ OD NIEJ UWOLNIĆ.
Do czego to było potrzebne?
ABY OSWOBODZIĆ NIEBIESKI BLOK.
Po co należało oswobodzić ten blok?
ABY UMIEŚCIĆ NA NIM ZIELONY BLOK.
Co jeszcze należało zrobić?
ZDJĄĆ NIEBIESKI BLOK Z ZIELONEGO BLOKU.
Dlaczego należało to wszystko zrobić?
DLATEGO, ŻE MNIE O TO PROSIŁEŚ.
Dziękuję.
PROSZĘ BARDZO.

Po tej rozmowie sytuacja na ekranie monitora jak na rys. 40b.

Program Winograda, umiejący interpretować i przetwarzać struktury językowe, znakomicie nadaje się do praktycznych zastosowań: prowadzi poprawną konwersację, rozpoznaje zdania z mowy potocznej, prawidłowo używa zaimków. A to wszystko dzięki ścisłemu powiązaniu analizy syntaktycznej z analizą semantyczną oraz dzięki zdolności do rozwiązywania problemów i obserwowania sytuacji. Słownik maszyny zawiera oddzielne miniprogramy,

które sprawdzają każdy wyraz, czy został on użyty jak należy. Kopie programu Winograda uruchomiono obecnie w licznych ośrodkach badawczych i podjęto wysiłki, by zwiększyć jego możliwości i poszerzyć zakres zastosowań.

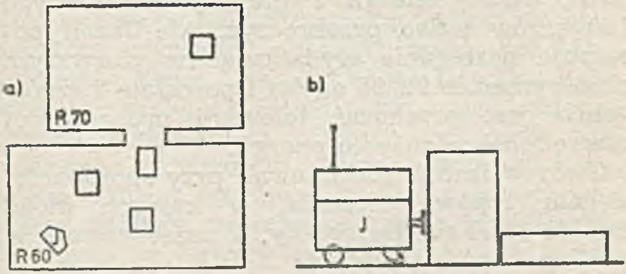
Jak mógłby działać taki opisany przez Winograda inteligentny robot, demonstruje nam Jazon, który ujrzał światło dzienne w roku 1975 na uniwersytecie w Berkeley. Jest to „stosunkowo tani, mobilny, sterowany komputerowo, przeznaczony do rozmaitych zadań robot posiadający niezawodne zmysły". Porusza się na kołach przytwierdzonych do półcalowej płyty aluminiowej; na płycie tej umocowano część napędową (rys. 41), zasilaną przez akumulator 250-amperogodzinowy. Wyżej znajdują się dwie półki na sprzęt elektroniczny, jeszcze wyżej — antena; z przodu — ręka (w wersji pierwotnej Jazon miał dwie ręce). Wy-



41. Budowa Jazona i schemat układu sterującego nim; 1 — radio, 2 — sterowanie łącznością, 3 — syntezator mowy, 4 — sterowanie rozpoznaniem otoczenia, 5 — rozpoznawanie mowy, 6 — główny akumulator, 7 — elektronika, 8 — sterowanie silnikiem, 9 — układ rozpoznawania otoczenia, 10 — „ręka", 11 — zderzak, 12 — koło napędowe, 13 — silnik, 14 — koło obrotowe

posażono go w przetwornik analogowo-cyfrowy, który uniemożliwia mu odbieranie informacji dotykowej i zapewniono współpracę z komputerami różnych firm: HP-3000, CDC-6400 lub PDP-10.

Jazona wypróbowano na modyfikacji problemu „małpa i banan" Przypomnę: małpa jest w pokoju, na suficie wisi banan, aby go dosięgnąć, zwierzę musi sobie przysunąć krzesło z rogu pokoju. W zmienionej wersji Jazon powinien dostać się do sąsiedniego pokoju, do którego wejście zagradza skrzynka (rys. 42).



42. Jazon przesuwa skrzynkę: a) sytuacja wyjściowa — Jazon znajduje się w lewym dolnym rogu pomieszczenia R-60; b) jedyna możliwość odepchnięcia niskiej skrzynki zagradzającej drogę do pomieszczenia R-70

Wykonuje to na polecenie: IN (J,R70, 100) — co znaczy: „wejść (Jazon, symbol sąsiedniego pokoju — R70, siła przeznaczona na ten manewr wynosi 100 ergów); — jeśli maszyna zużyje więcej ergów, będzie to niepotrzebna strata energii.

Wstępny tok rozumowania Jazona, a właściwie sprzężonej z nim maszyny cyfrowej, wygląda następująco: 1) dojechać do skrzyni, 2) odsunąć ją zderzakiem, 3) dojechać do drzwi, 4) przejść przez nie. Plan do zrealizowania przy 35—40 ergach. Ale tu nowy szkopuł: skrzynka w drzwiach jest niska i ręka Jazona przechodzi

ponad nią. Trzeba zmodyfikować plan: dopchnąć do drzwi jedną z wysokich skrzynek znajdujących się również w pokoju R70 i za jej pośrednictwem usunąć niższą skrzynkę. Tu kolejna, nieprzewidziana trudność: jedna z wysokich skrzynek ma szorstką powierzchnię i nie daje się przesunąć. Jazon musi zatem 1) znaleźć skrzynkę z gładką powierzchnią, 2) dopchnąć ją do niższej skrzynki, 3) odsunąć obie od drzwi i przejść przez nie. Jeśli program właściwie ustali kolejność czynności i robot wybierze optymalną drogę, to może zmieścić się w 60—70 ergach. Każdy błąd powoduje nową utratę energii i granicę dozwolonych 100 ergów łatwo przekroczyć. Ale Jazon postępuje bezbłędnie wydatkując w pierwszym eksperymencie 92, 95 ergów i pozostałe 7 ergów gotów jest przekazać telewizji propagującej oszczędność w zużyciu energii.

Twórcy Jazona zdefiniowali przy sposobności siedem typów otoczenia, w których mogą działać inteligentne roboty, i uszeregowali je według stopnia trudności:

1) Środowisko sterylne — najdogodniejsze dla maszyn, precyzyjne z matematycznego punktu widzenia; żadnych kontaktów ze światem rzeczywistym.

2) Środowisko czyste — dane wyjściowe pochodzą ze świata rzeczywistego, ale są wysoce spreparowane — np. obiekty pomalowane soczystymi kolorami, co ułatwia maszynie ich identyfikację.

3) Środowisko pasywne — typowe wnętrze, np. biuro, ale bez ludzi, a także pozbawione przewiewu i cienia, wprowadzających zmiany w oświetleniu.

4) Środowisko aktywne — typowe otoczenie zewnętrzne, a więc plener, drzewa, niebo itp., bez ludzi jednak i bez zwierząt.

5) Środowisko życzliwe — środowisko aktyw-

ne z kooperującymi ludźmi, którzy przekazują maszynie zasady działania (np. w fabryce, na parkingu).

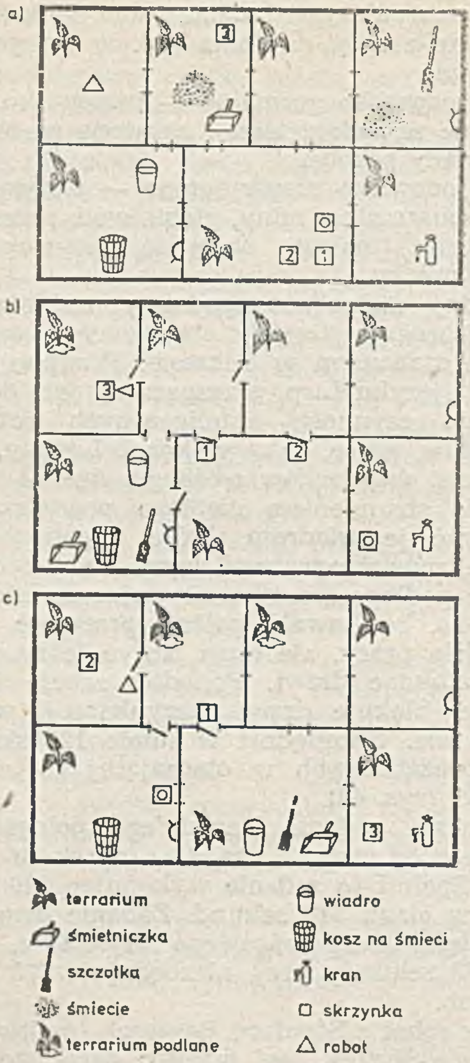
6) Środowisko normalne — środowisko życzliwe, ale ze zwierzętami i narażone na okresowe zmiany pogody.

7) Środowisko nieprzyjemne — wszystko tu jest dopuszczalne: miny, głębia wód, przestrzeń kosmiczna, nawet obecność potencjalnych przeciwników.

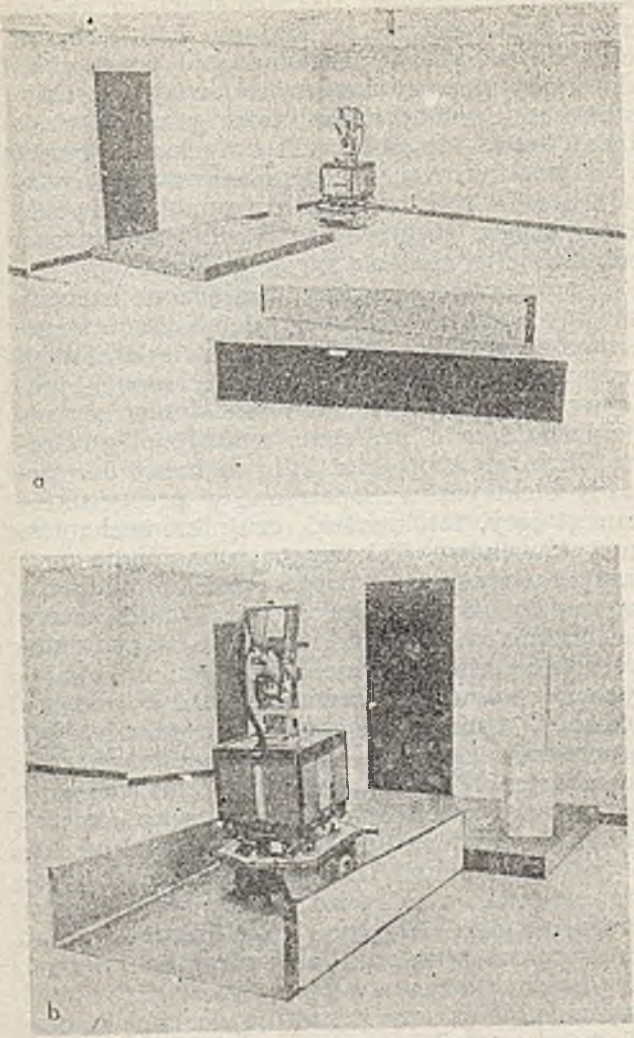
Trudny małpobananopodobny problem rozwiązał program Lawaly, stworzony na uniwersytecie stanowym w Teksasie. Program napisany w języku Lisp, przeznaczony jest do planowania czynności inteligentnych robotów. Najcięższą pracę, jaką wykonał Lawaly, było przejęcie obowiązków woźnego: musiał suszyć terraria strumieniem ciepłego powietrza lub podlewać je wiadrem, które napełniał przy kranie, musiał opróżniać kosze na śmieci, zamiatać podłogę szczotką używając śmietniczki. Założono, że Lawaly potrafi przenosić swoje narzędzia pracy, ale musi złożyć je na ziemi, aby zamknąć drzwi. Ponadto: zapala i gasi światło, blokuje drzwi skrzynkami i wspina się na nie. Uwzględnia w sumie 120 składników początkowych w otaczającej go rzeczywistości (rys. 43).

Pierwsze zadanie Lawaly'ego polegało na przejściu od stanu z rys. 43 a do stanu z rys. 43 b. Spełnił to zadanie wykonując 198 czynności w ciągu 348 sekund. Zadanie drugie — osiągnięcie stanu końcowego z rys. 43 c, zajęło mu 433 sekundy przy niezbędnych 275 czynnościach.

Inny robot z Stanford Research Institute nazywa się Shakey, jest wzrostu dorosłego człowieka i choć nie ma „rąk", pracuje wydajnie, sterowany z odległego komputera, poruszając się samodzielnie po terenie. W doświadczeniu,



43. Lawaly w roli woźnego: a) sytuacja wyjściowa; b) stan pomieszczeń po wykonaniu przez Lawaly'ego 198 czynności; c) sytuacja końcowa, którą Lawaly osiągnął wykonując 275 czynności



44. Shakey zrzuca skrzynkę: a) rozpoznanie sytuacji; b) rozwiązanie problemu za pomocą pochylni

które ilustruje rys. 44, Shakeyowi kazano zrzucić skrzynkę z podium na ziemię. Robot obejrzał wszystkie przedmioty w pomieszczeniu (przy pomocy kamery telewizyjnej, zainstalowanej mniej więcej tam, gdzie powinna być głowa) i przesłał ich opis komputerowi. Maszyna cyfrowa, po przeanalizowaniu sytuacji zleciła robotowi, by przesunął pochylnię, która mogła posłużyć za wjazd. I w ten sposób skrzynka znalazła się na podłodze.

Eksperyment powyższy wygląda na zaawansowany proces świadomego działania, a stanowi przecież tylko wynik właściwie ułożonego programu. Trzeba przypomnieć sensację, jaką wywołały kilkanaście lat temu słynne „cybernetyczne żółwie" profesora neurofizjologii Greya Waltera. A przecież były to niewielkie pojazdy elektryczne zaopatrzone w prosty układ pamiętający, fotokomórki, czujniki mechaniczne i dźwiękowe. Tak wyposażone żółwie omijały ustawione na ich drodze przedmioty, poruszając się w kierunku źródła światła, które dostarczało im energii. Urządzenia te podejmowały więc łatwe decyzje, zależne od zmieniających się warunków zewnętrznych. Po okresie „tresury" zaczęły reagować na gwizd, który poprzedzało zapalenie się światła. Potem reagowały już tylko na gwizd, jak pies biegnący na wołanie, wzywające go do pełnej miski. Wciąż eksperymentując Walter odłączył od stada jednego z żółwi. Tak jak przedtem, posłusznie reagował on na gwizd i następującą po nim dawkę światła. Ale gdy kilkakrotnie zamiast strawną ilością energii poczęstowano go zbyt silnym światłem — wystraszył się i zmienił zwyczaje. Włączony ponownie do stada odpowiadał na gwizd inaczej niż reszta żółwi zmierzających w stronę, skąd dochodził dźwięk: uciekał w kierunku przeciwnym i chował się po ciemnych kątach.

Doświadczenia z „widzącymi maszynami" nie przypadkiem zajmują poczesne miejsce w badaniach nad sztuczną inteligencją. Większość wiadomości czerpią bowiem ludzie i zwierzęta z informacji wizualnej. Chodzi tu głównie o kształt. Jakże ubogo prezentuje się przy tym rola barw — informacja o kolorze ma na ogół niewielkie znaczenie.

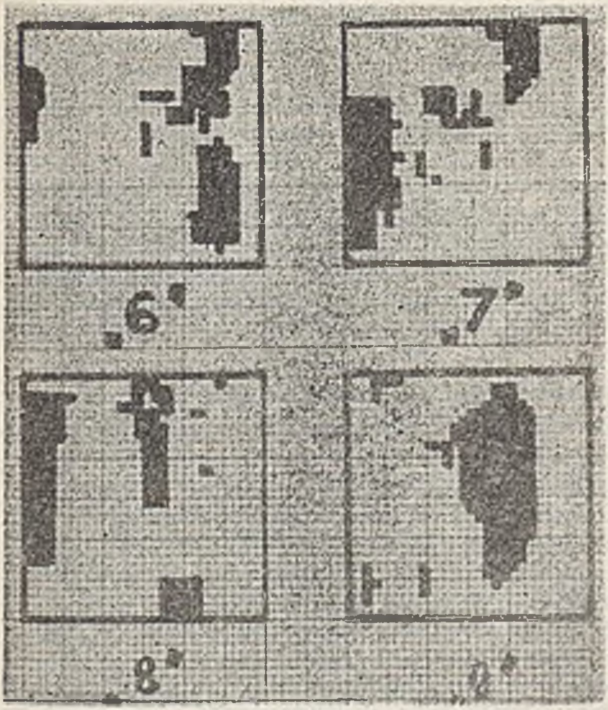
Skorzystajmy z porównania: układ recepcyjny człowieka i zautomatyzowany proces produkcyjny. Wyobraźmy sobie duży zakład spożywczy kontrolowany przez czujniki mierzące temperaturę (dotyk), natężenie hałasu (słuch), sprawdzające jakość wyrobów (smak), zawartość dymu w powietrzu (bezpieczeństwo przeciwpożarowe — węch) i prawidłowość wykonywanych operacji (kamery telewizyjne — wzrok). Urządzenia te przetwarzają zdobyte informacje na sygnały elektryczne i w tej postaci przesyłają je do „mózgu", czyli do sterującej zakładem maszyny cyfrowej, która podejmuje odpowiednie do otrzymanych sygnałów decyzje. W obu wypadkach różnice występują w rodzaju pomiarów — przesyłanie i przetwarzanie danych odbywa się tak samo. I analogicznie: chociaż struktura oka odbiega od struktury ucha, natura impulsów i działanie mózgu, będące w obu wypadkach reakcją na bodźce zewnętrzne, nie są aż tak odmienne. Nie ma więc potrzeby omawiać dokładnie sztucznych układów rozpoznawania wrażeń smakowych, węchowych i dotykowych — od układu rozpoznawania obrazów graficznych różni je tylko rodzaj czujnika. W teorii, w praktyce bowiem — mimo istnienia urządzeń do pomiaru smaku (elektrogustometrów) — trudno jest ciągle pokonywać przysłowiowe trudności, jakie napotykamy przy opisie różnicy w smakach wina czerwonego i białego. Ograniczymy się tu jednak tylko do paru słów na

temat identyfikacji dźwięku: wśród naszych zmysłów słuch zajmuje bądź co bądź drugie miejsce po wzroku.

Chodzi tu zasadniczo o rozpoznanie mowy — sygnałów akustycznych najbogatszych w informacje. Od dawna już myślano o automatach reagujących na wypowiadane przez człowieka polecenia — przed ostatnią wojną światową konstruowano zegary, które, w momencie gdy radio podawało czas, same się regulowały. Minęło lat ponad dwadzieścia, od czasu, gdy pewien inżynier akustyk zbudował „skrzynkę arbuzową", czyli pudło wypełnione aparaturą elektroniczną z mikrofonem na przedniej ściance i z czerwonym światełkiem na wierzchu. Gdy w rozmowie, toczącej się w pobliżu skrzynki, padało słowo „arbuz", zapalała się na niej czerwona lampka. Teoretycznie więc można by zbudować jakieś 10 tysięcy podobnych skrzynek (tyle bowiem słów używa się w przeciętnej rozmowie) — i sprawa byłaby załatwiona. Techniczna realizacja wydaje się jednak mało prawdopodobna, zwłaszcza że niewiele jest tak łatwych do rozpoznania słów jak angielskie „arbuz" (watermelon — równomiernie rozmieszczone samogłoski „a", „e", „e", „o" w stosunkowo długim wyrazie).

Wielu badaczy zajmujących się rozpoznawaniem obrazów stosowało później opracowane przez siebie metody do identyfikacji dźwięków. Nieraz zresztą jedno wynikało z drugiego: najpierw dokonywano zapisu graficznego widma częstotliwości wypowiadanego słowa, a następnie spektrogram ten badano w podobny sposób jak zwykłe obrazy. Tak postępowali Uhr i Vossler w latach 1961—1963, uzyskując przy pomocy wspomnianego już programu dla maszyny IBM 709 sto procent prawidłowych odpowiedzi (przy nieco uproszczonych spektrogramach cyfr oraz identycznym sposobie ich wy-

powiadania). Ten sam program umożliwił rozpoznawanie słów w zdaniu znanym maszynie, ale wypowiadanym przez różne osoby. Rys. 45 przedstawia spektrogramy dowolnie wypo-

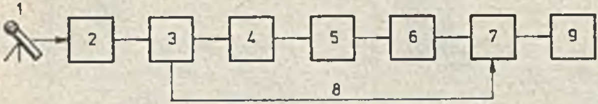


45. Spektrogramy wypowiadanych po angielsku cyfr

wiadanych (po angielsku) cyfr: sześć, siedem, osiem dziewięć, dla których uzyskano 90% poprawnych wyników.

Zasady działania perceptronu wykorzystano w urządzeniu do rozpoznawania mowy nazwanym Tobemory. Sygnał z mikrofonu był tu wzmacniany i przekazywany na 45 filtrów wąskopasmowych oraz na układ uśredniania

i pomiaru amplitudy z sygnalizacją przerw między słowami. Następnie złożona sieć wzmacniaczy progowych i różnicowych, układów przełączających, linii opóźniających, układów progowych i przekaźników (rys. 46) umożliwiła automatyczne rozpoznawanie słowa.



46. Rozpoznawanie mowy na zasadzie działania perceptronu. 1) mikrofon; 2) wzmacniacz; 3) filtry wąskopasmowe, pomiary amplitudy, określanie przerw między słowami; 4) układ przełączający; 5) wzmacniacze progowe, różnicowe i linie opóźniające; 6) układ przełączający; 7) wzmacniacze, układy progowe i przekaźniki, 8) sygnały końca słowa; 9) decyzja

Po owocnym, z punktu widzenia prac eksperymentalnych, początku lat sześćdziesiątych (warto zwłaszcza odnotować osiągnięcia w rozpoznawaniu samogłosek[1] i krótkich wyrazów[2]) przyszła kolej na praktykę. Najbardziej przydatne okazały się tu urządzenia identyfikujące tożsamość osób wydających rozkazy przez radiostacje wojskowe lub telefoniczne polecenia dotyczące wypłat z kont bankowych (prawie jak „Sezamie, otwórz się"). Opracowane w Instytucie Podstawowych Problemów Techniki PAN urządzenia do „ekstrakcji i analizy parametrów fonetyczno-akustycznych mowy polskiej" potrafią automatycznie rozpoznawać głoski, wyrazy i grupy wyrazów, a także wykonywać analizy statystyczne. Używa się tych

---

[1] J. W. Forgie, C. D. Forgie, *Results Obtainer from a Vowel Recognition Computer Program*, „Journ. Acoust. Soc. Amer." 1959, nr 31.

[2] G. W. Hughes, M. Halle, *On the Recognition of Speach by Machine*, Information Processing, Unesco, Paryż, 1960.

urządzeń do ćwiczeń rehabilitacyjnych wymowy, do badań językoznawczych nad intonacją i do nauczania języków obcych. W tymże Instytucie powstał fizyczny model krtani wraz z jej opisem matematycznym. Dzięki pomocy minikomputera Mera-300 można teraz określić i zlokalizować anomalie anatomiczne oraz fizjologiczne przyczyny ograniczenia czynności ruchowych krtani.

W 1971 roku amerykańska Advanced Research Project Agency wyłożyła 15 milionów dolarów na pięcioletni program, który miał „umożliwić opracowanie takich metod rozumienia mowy, aby można je było użyć w praktycznych sytuacjach komunikowania się człowieka z maszyną" Mimo to jednak, chociaż i obecnie dysponujemy kosztownym sprzętem laboratoryjnym (np. maszynami do analizy mowy firmy Control Signal Processors), urządzeniami wykorzystującymi najnowsze techniki (np. holofony stosujące układy laserowe), w powszechnym użyciu brak nam wciąż urządzeń o powszechnej przydatności np. dyktafonów, które podyktowany im tekst zwracają w postaci maszynopisu. Bliscy tego celu są ponoć Japończycy: na uniwersytecie w Sapporo dobiegają końca doświadczenia z maszyną reagującą na sylaby; specyfika języka japońskiego ułatwia sprawę. Ogólnie jednak rzecz rozważając, słowa-dźwięki okazały się o wiele trudniejsze do rozpoznawania niż słowa-litery. Przyczyniają się do tych trudności nie tylko indywidualne cechy osoby mówiącej, ale też kierunek, z którego głos dochodzi, jego natężenie, czas trwania wypowiedzi, barwa emocjonalna itp. Do przechowywania wzorców rozpoznawczych słów potrzebna jest pamięć o niezwykle dużej pojemności. Wypowiedzenie po angielsku dowolnej cyfry zajmuje około pół sekundy, a sporządzenie jej wzorca wymaga

stu kilkudziesięciu 8-bitowych słów pamięci maszyny.

Znacznie prostsze było działanie na wspak. Aby stworzyć maszynę mówiącą, należało zapisać na taśmie magnetycznej zbiór podstawowych dźwięków, z których maszyna miała złożyć żądane słowo.

Wypowiadane słowa składają się z tzw. fonemów, podstawowych dźwięków, które tworzą jakby alfabet języka mówionego. Język angielski np. ma 26 liter, a jego „alfabet mówiony" składa się z 48 fonemów. Jeśli temat był ściślej określony można było zapisywać całe słowa, zdania, a nawet dłuższe wypowiedzi. Przemawiający ludzkim głosem komputer wywierał ogromne wrażenie na laikach, ale do rozwoju badań nad sztuczną inteligencją nie przyczynił się bardziej niż przystawka telefoniczna meldująca, że abonenta nie ma w domu.

Przecież na tej samej zasadzie działa „zwykła" zegarynka. Nie nagrywa się taśmy magnetofonowej na pełne 24 godziny. Godziny zarejestrowane są osobno, minuty osobno. Odpowiednie fragmenty obu taśm zestawia się tak, że sprawia to wrażenie informacji wypowiadanej jednym ciągiem: „Ósma... dwadzieścia sześć".

System tego rodzaju zbudowano w 1976 r. w Zakładzie Komunikacji Człowiek—Maszyna Instytutu Maszyn Matematycznych. Mowę syntetyczną uzyskiwano w nim przez składanie sylab, których podstawowy zbiór (około 40) był zapisany w postaci cyfr w pamięci minikomputera MERA-400. Program syntezy umożliwiał wybór odpowiednich sylab i przekazywanie ich kolejno do przetwornika cyfrowo-analogowego, który dawał analogowy sygnał elektryczny odbierany w głośniku lub słuchawce telefonu jako mowa syntetyczna.

Inne urządzenie do syntezy mowy uruchomiono w Zakładzie Analizy i Syntezy Informacji Uniwerysytetu Warszawskiego. Jego zadaniem jest przetworzenie tekstu, wystukanego na maszynie do pisania według zasad polskiej ortografii i interpunkcji na tekst mówiony. Ambicją twórców było uzyskanie „ciągłej i płynnej mowy syntetycznej, na tyle naturalnej, aby słuchanie jej przez czas dłuższy nie pogarszało poprawności percepcji" [1].

W czasie prezentacji tego systemu wystukałem na klawiaturze tzw. automatu biurowego (maszynie do pisania z dziurkarką taśmy papierowej, która drukuje tekst i jednocześnie utrwala na taśmie perforowanej) zdanie: „W Szczebrzeszynie chrząszcz brzmi w trzcinie", a potem przyjęte w tym systemie hasło zakończenia syntezy: „Ala ma kota". Chciałem możliwie najbardziej utrudnić zadanie syntezy. Kto wie jednak, czy nie wpadłem w zastawione przez siebie sidła? Bo na miejscu programisty zwróciłbym szczególną uwagę na wyuczenie komputera pokonywania łamańców językowych, rozmaitych „chrząszczy", „suchych szos" i „stołów z powyłamywanymi nogami".

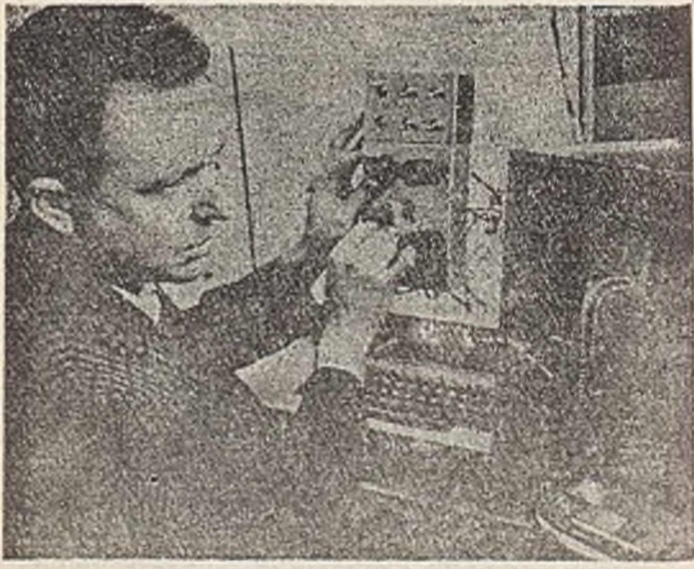
Nie mogłem się jednak wycofać, ponieważ taśma z zapisem już została wprowadzona do maszyny cyfrowej ZAM-41 (stara, ale bardzo dobra polska konstrukcja). Parę sekund trwała analiza zdania i wypracowywanie instrukcji sterujących. Potem komputer zgodnie z tymi instrukcjami rozpoczął syntezę. Zajęło mu to nieco więcej czasu, ale w niespełna trzy minuty później z wielkiego głośnika wydobył się cienki głosik: „W Szczebrzeszynie chrząszcz brzmi w trzcinie". Kilkakrotnie przesłuchałem

---

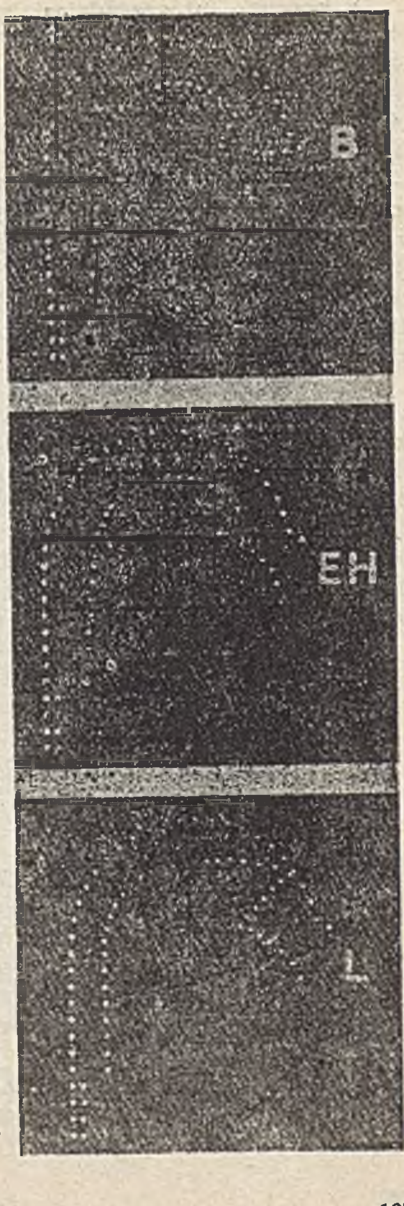
[1] L. Bloc, G. Kiełczewski, *Cyfrowa analiza sygnałów dźwiękowych mowy w systemie SUSY*, Sprawozdanie IMM i ZOM UW, 1975, nr 51.

to zdanie usiłując podchwycić drobne nieprawidłowości. I chociaż metaliczność tej wypowiedzi raziła ucho nienaturalnością, nie potrafiłem wyłapać ani jednej źle wyrażonej głoski lub błędnie rozłożonego akcentu.

Do tej grupy urządzeń należy system odpowiedzi fonicznych IBM 7772. Może nas z nim połączyć każdy klawiaturowy aparat telefoniczny. Zależnie od charakteru zgłoszeń system pobiera z pamięci dyskowej właściwy wzorzec i odpowiada w dowolnym języku, dowolnym akcentem. Tego rodzaju systemy bardzo się obecnie przydają do udzielania informacji ogólnych i szczegółowych, do odbierania zamówień, do kontroli stanu magazynów itp.



47. Przekrój ludzkich narządów głosowych na monitorze ekranowym, zmieniający się zgodnie z wypowiadanym dźwiękiem („Horyzonty Nauki" nr 16, Warszawa, s. 8)



48. Układ narządów głosowych przy wymawianiu słowa Bell („Horyzonty Nauki", cyt. wyd., s. 5)

W połowie lat sześćdziesiątych badacze z laboratoriów firmy Bell sprzęgli syntetyzator z monitorem ekranowym. Na monitorze pojawił się przekrój ludzkich narządów głosowych (rys. 47). Wykres można było modyfikować przez zmiany w ustawianiu pokręteł syntetyzatora — dźwięk stawał się wówczas adekwatny do nowego obrazu. Zależność między dźwiękiem i przekrojem narządów głosowych ustalono już wcześniej za pomocą filmów rentgenowskich. Rys. 48 pokazuje przekroje, które — ustawiane kolejno na monitorze — dają wyraźnie brzmiące słowo BELL.

Amerykańskie zakłady sprzętu medycznego i rehabilitacyjnego Hospital Supply wyprodukowały niedawno kieszonkowy syntetyzator dźwięku dla niemych. Urządzenie pamięta około tysiąca słów, ale klawiatura 8×16 przycisków pozwala tworzyć dowolne wyrazy, wypowiadane następnie przez miniaturowy głośnik męskim głosem o nieco metalicznym brzmieniu.

5 JESTEM, WIĘC MYŚLĘ

Pozostańmy jeszcze przy porównaniu tak często nasuwającym się w rozdziale poprzednim: system nerwowy i zestaw — maszyna cyfrowa plus czujniki, plus przetworniki. Tym razem zajmiemy się pewną analogią między centralnymi obiektami obu systemów — między komputerem i mózgiem (siedzibą rozumu, którą w starożytności miała być przepona brzuszna).

Do przeprowadzenia owej analogii upoważnia przede wszystkim to, że zarówno mózg, jak komputer służą do przetwarzania danych. Informacja z otoczenia dociera do nich za pośrednictwem układów zewnętrznych; ani mózg, ani komputer nie utrzymują bezpośrednich kontaktów ze środowiskiem; analizują odbierane wiadomości, modyfikują je, zestawiają z materiałem zapamiętanym wcześniej. Na tej podstawie podejmują decyzje, aby wnioski — w formie wyników lub poleceń — przekazać na zewnątrz za pomocą innych układów.

I mózg, i komputer zdolne są do przeprowadzania bardzo licznych operacji w krótkim czasie i w sposób dość wielostronny. Mogą rozwiązywać różne problemy, nawet takie, których istoty nie daje się wcześniej ściśle sformułować. Dysponują pamięcią i akceptują pojęcia

wyrażone w odpowiednim języku. Co więcej, są w pewnym sensie wymienne: mózg ludzki opracowuje modele komputerów, a komputer może w pewnych przypadkach podjąć pracę mózgu.

Mózg — największy w naszym organizmie zbiór komórek nerwowych (miliardy), ośrodek zawiadujący ruchami, odczuciami i kojarzeniem, główne archiwum świadomości — niezbyt chętnie poddawał się dotychczas opisowi. Dziś już przynajmniej wiemy, że poszczególne jego części cechuje wąska specjalizacja i wąski zakres odpowiedzialności za te czy inne poczynania naszych organów. Ale niektóre ośrodki nerwowe mózgu odpowiadają, choć w sposób odmienny, za tę samą sprawę i wzajem się kontrolują. Wszystko jest tutaj znakomicie zorganizowane (mózg to sobie dobrze przemyślał!) i tworzy precyzyjną strukturę hierarchiczną.

Ponieważ mózg jest doskonałym elektrolitem, przez który nieustannie przepływają prądy, wykorzystano to zjawisko do lokalizacji przebiegu połączeń nerwowych w mózgu i rdzeniu kręgowym przy użyciu miniaturowych elektrod — można je było wprowadzać do wnętrza mózgu na czas dłuższy. Dzięki temu, pobudzając prądem elektrycznym grupy neuronów, ujawniono, za co są odpowiedzialne poszczególne części mózgu. Tak tedy potrafimy już lokalizować uszkodzone jego partie i obserwować reakcje na podrażnienia. Znając części składowe mózgu, nadal jednak mało możemy powiedzieć o zasadach ich współpracy, o zachodzących tam zjawiskach biochemicznych, o tzw. stanach nieustalonych, o naturze sprzężeń zwrotnych, które powdują, że całość funkcjonuje bez zarzutu. Gdy mózgi kota i małpy jako niezbyt skomplikowane zawiodły nadzieje na wykrycie tych zależności, przerzucono się

na doświadczenia z pszczołami. Ale nawet o tyle, zdawałoby się, prostsze struktury nie odsłoniły jeszcze wszystkich swoich tajemnic. Tym skwapliwiej przyjęto więc propozycje modeli komputerowych.

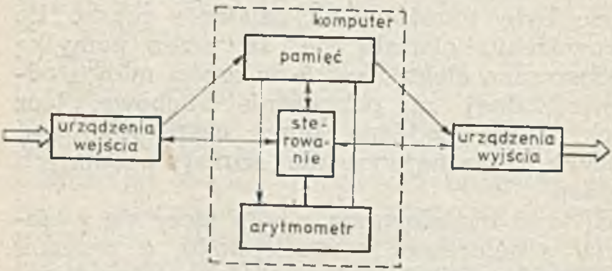
James Olds używał maszyn cyfrowych do analizy zmian stanu poszczególnych grup neuronów w mózgu szczura; zmiany te powodował proces uczenia się. Według Oldsa miało to być wskazówką, gdzie należy umiejscowić pamięć, której siedlisko — jak przypuszczał — znajduje się w okolicach mózgowia. Olds i jego grupa z Kalifornijskiego Instytutu Technologii wiele zresztą w tej dziedzinie zrobili — m.in. zlokalizowali „ośrodki rozkoszy" w podwzgórzu i międzymózgowiu. Pomógł im przypadek. Badając w 1954 r. aktywność szczura, którego mózg drażniono prądem elektrycznym, Olds stwierdził w pewnej chwili, że zwierzątko przestaje uciekać przed bodźcami. A nawet wraca uparcie do tego miejsca w klatce, gdzie było narażone na działanie prądu. Po sprawdzeniu okazało się, że przez pomyłkę umieszczono elektrody nie w części mózgu odpowiedzialnej za pobudzenie ruchowe, lecz obok. Inne, poddane temu eksperymentowi szczury, także najwyraźniej szukały podobnych doznań.

Historia modelowania mózgu łączy się z historią współczesnej neurofizjologii, z pracami sir Charlesa Sherringtona i Iwana Pawłowa. Wiąże się także z działalnością Jerzego Konorskiego, najwybitniejszego ż badaczy polskich w tej dziedzinie.

O wnętrzu komputera człowiek wie wszystko z absolutną pewnością stwórcy. Ogólny schemat organizacyjny komputera nie zmienił się od zarania lat pięćdziesiątych, ściślej: od 1952 r., kiedy to maszyna firmy Univac zapoczątkowała mit o myślących komputerach,

prawidłowo typując kandydata na fotel prezydencki — Eisenhowera. W założeniach struktura Univac I nie różniła się od maszyn IBM//370, które przewidziały wybór Cartera. Tyle, że w każdym przypadku wywołało to inne reakcje w społeczeństwie. Z radosnym zdziwieniem i dumą powitano geniusz „noworodka" z 1952 r. W dwadzieścia pięć lat później z niechęcią i z niecierpliwością mówiono o przemądrzałych komputerach, które na długo przed elekcją, opierając się na sondażach przedwyborczych, podają wyniki z dokładnością do trzeciego miejsca po przecinku.

Komputerowy mózg, zgodnie ze swoim przeznaczeniem, musi wykonywać trzy czynności podstawowe. Musi obliczać, zapamiętywać i zarządzać wszystkimi operacjami według założeń programu. Wnętrze komputera dzieli się zatem na trzy główne bloki funkcjonalne: arytmometr, pamięć i sterowanie (rys. 49).

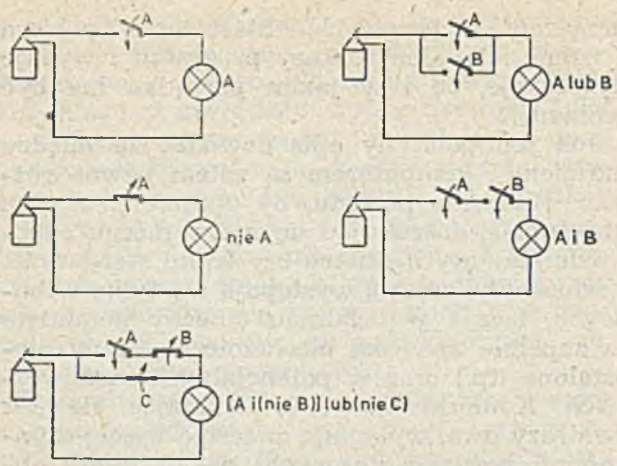


49. Schemat organizacyjny maszyny cyfrowej

Arytmometr pobiera dane z pamięci i poddaje je niezbędnym operacjom arytmetycznym oraz logicznym, po czym przesyła wyniki z powrotem do pamięci. Pamięć przechowuje wszystkie bieżące informacje: dane początkowe, wyniki pośrednie, końcowe rezultaty obliczeń i programy; tu trafiają informacje z urządzeń wejściowych i stąd są one ekspediowane do

urządzeń wyjściowych. Sterowanie pobiera z pamięci kolejne rozkazy programu i wydaje dyspozycje, co i w jakim porządku ma być zrobione.

Już ten pobieżny opis dowodzi, że między mózgiem i komputerem są zatem pewne różnice. I nie ma powodu, by uparcie je z sobą utożsamiać, doszukując się np. w mózgu odpowiedników arytmometru czy bloku sterowania. Rozbieżności zresztą występują nie tylko w budowie, lecz i w działaniu (choćby pominięte tu zupełnie zjawiska biochemiczne, stany nieustalone itp.) oraz w potencjalnych możliwościach. Komórki nerwowe, obliczając, ile jest dwa razy dwa, wykonują znacznie więcej czynności (i bardziej złożonych) niż elementy obwodów scalonych maszyny. Arytmometr robiący obliczenia arytmetyczne jest dla nas rzeczą całkiem zrozumiałą — po to go wymyślono, jak sama nazwa wskazuje. Arytmometr radzący sobie z logiką — to już rzecz zastanawiająca. Ale zależności logiczne dają się realizować w układach elektronicznych w sposób niezwykle łatwy. Do pokazu prostych operacji wystarczą nam drut, bateryjki, żaróweczki i wyłączniki (rys. 50). Najogólniej można by powiedzieć, że komputer działa tak samo, z tym, że wyłączniki zastąpiono tu przekaźnikami (przełącznikami sterowanymi prądem), potem lampami elektronicznymi (maszyny cyfrowe pierwszej generacji), tranzystorami (druga generacja) i w trzeciej generacji wszystko to pomieściło się w układach scalonych. Zwróćmy teraz uwagę na fakt, że różne neurony wykonują operacje jednocześnie, w maszynie cyfrowej natomiast operacje następują jedna po drugiej, tj. szeregowo (aczkolwiek budowane są komputery, których elementy, np. rejestry, działają równolegle). Ale tak czy owak trzeba uznać przewagę arytmometru elektronicznego ze względu

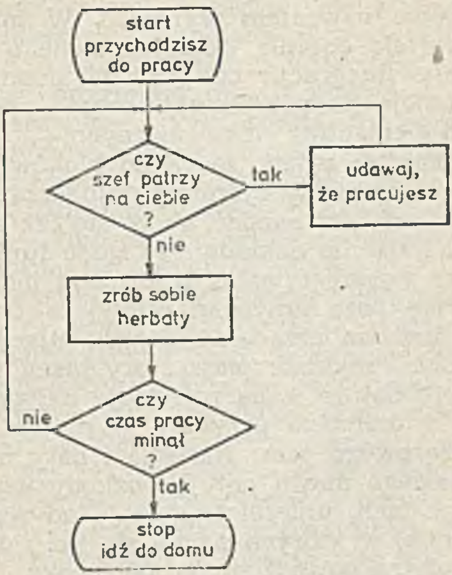


50. Realizacja podstawowych zależności logicznych za pomocą najprostszego układu elektrycznego Zapalenie się lampki oznaczonej kółkiem z krzyżykiem świadczy, że zadana zależność logiczna wystąpiła

na jego szybkość i precyzję (maszyna, wbrew pozorom, myli się rzadziej niż człowiek).

Co do sterowania, sprawa przedstawia się odwrotnie; dokładność maszyny w egzekwowaniu programów jest zbyt dosłowna. Programy napisane na podstawie algorytmów bywają co prawda nieraz bardzo rozbudowane i przemyślane, ale nie są zdolne przewidzieć wszystkich okoliczności i stają bezradne przed nieprzewidzianą sytuacją. Można ułożyć algorytm nie tylko złożonych obliczeń, lecz i czynności zupełnie prozaicznych (jednym z najpopularniejszych, chociaż nie najsubtelniejszych żartów algorytmicznych był swego czasu przepis na spędzanie dnia roboczego, zawieszany na ścianach w ośrodkach obliczeniowych, rys. 51). Maszyna jednak będzie miała kłopot z sytuacjami nie przewidzianymi w algorytmie, takimi jak konsekwencje złego humoru szefa czy wyczer-

pania się zapasu biurowej herbaty. Pewnym krokiem naprzód jest tu opisane wcześniej działanie heurystyczne, ale i tu należy wątpić, czy programy heurystyczne są zdolne do wychwycenia wszystkich niuansów.



51. Algorytm dnia „wytężonej pracy"

Do codziennego działania mózg angażuje tylko pewną część swoich komórek, stąd podejrzenie, że dysponuje ich nadmiarem, co świadczyłoby o wysoce rozrzutnej konstrukcji. Tak jednak nie jest: ów nadmiar komórek staje się niezwykle przydatny nie tylko jako rezerwa na wypadek ewentualnych uszkodzeń, ale też gwarantuje elastyczność, zdolność do uzupełniania ubytków informacji i umożliwia zaskakujące nieraz skojarzenia.

Zjawisko to wykorzystali konstruktorzy maszyn. W pojazdach Apollo już w 1962 r. kom-

putery, które musiały być maksymalnie niezawodne, dysponowały podwójnym zapasem bloków logicznych i samokreacyjną, zdublowaną pamięcią, a na promie kosmicznym Space Shuttle znajdowało się pięć identycznych komputerów, które w razie awarii mogły się programowo nawzajem wyręczać. W maszynach stosuje się obecnie układy scalone o wielkim stopniu integracji, co pozwala przenosić redundancję na poziom najniższy — podstawowych elementów elektronicznych.

Można by sądzić, że wśród bloków funkcjonalnych maszyny cyfrowej najbliższa mózgowi ludzkiemu jest pamięć, skoro się tak samo nazywa i spełnia dokładnie te same funkcje. Ale proces zapamiętywania informacji może odbywać się poza umysłem człowieka i w ogóle poza każdym urządzeniem naśladującym pracę umysłu. Przykład: piaszczysty brzeg rzeki, na którym natura sama rejestruje najwyższy poziom wiosennego przyboru w postaci brudnego brązowego pasa. Nacięcia i daty na filarze pobliskiego mostu notują poziomy wody z lat poprzednich, uniezależniając je od wspomnień ludzkich, w których mogła się już zatrzeć katastrofalna powódź sprzed pół wieku.

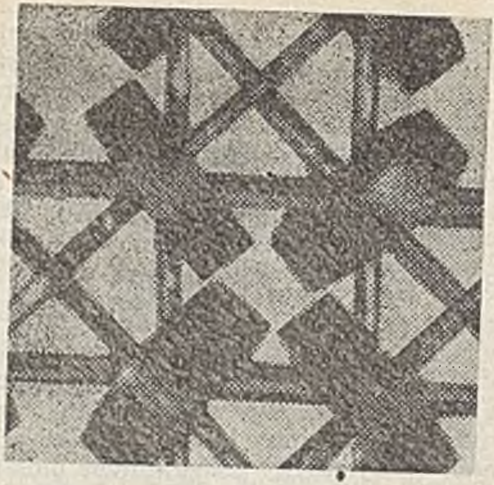
Nad istotą pamięci i najlepszymi metodami zapamiętywania wiadomości zastanawiano się już w starożytnej Grecji. Inspiracja wyszła pono od poety Simonidesa. Zainteresowanie tą problematyką odziedziczył Rzym, przeniosło się ono w średniowiecze i tu żywot zakończyło, rzekomo z powodu wynalezienia druku [1]. Skoro więc setki zadrukowanych kartek przejęły na siebie funkcje pewnej części naszego umysłu, to pojemne pamięci komputerów powinny teraz zredukować je do niezbędnego minimum. A

[1] Tak przynajmniej twierdzi F. A. Yates w książce *Sztuka pamięci*, PIW, Warszawa 1977.

jednak wciąż brak zaufania do własnej pamięci każe nam uwieczniać aparatem fotograficznym wrażenia z wycieczki zagranicznej, robić notatki z wykładów, nagrywać na magnetofon piosenkę. Dane dla potrzeb komputerów trzeba rejestrować inaczej: w postaci zer i jedynek. Pamięć maszyny podzielona jest zwykle na komórki i w każdej komórce mieści się jednakowa ilość informacji (np. 8 bitów) — tzw. słowo maszynowe. Przypomina to ogromne osiedle domków jednorodzinnych — każda komórka ma tu swój dokładny adres. Dzięki temu łatwo jest nadchodzące dane — „nowych mieszkańców" — kierować na nie zajęte posesje. Bez trudu można też odszukać każdego z mieszkańców: wystarczy podać numer bloku pamięci — „ulicę", i numer komórki, czyli „domu".

Dużo mamy technicznych rozwiązań różnych rodzajów pamięci i zdarza się, że w jednej maszynie cyfrowej pracują równocześnie odmienne ich typy. Konstruktorzy starają się, by mieściły one jak największą ilość informacji, szybko dających się zapisywać i odczytywać, a przy tym — kosztowały jak najtaniej. Trudno, niestety, pogodzić z sobą te trzy warunki.

Do budowania pierwszych pamięci używano rur napełnianych rtęcią, magnesujących się sprężyn lub przerzutników elektronicznych. Były to urządzenia wolno pracujące, niezbyt pojemne i kłopotliwe (rtęć np. często wylewała się). Prawdziwą rewelacją stało się wprowadzenie w roku 1953 rdzeni ferromagnetycznych: malutkich pierścieni, trwale magnesujących się pod wpływem prądu. Gdy przez przewody z nawleczonym pierścieniem płynął prąd, pierścień magnesował się, czyli zapamiętywał cyfrę „jeden". Mając taką siatkę regularnie nanizanych rdzeni (rys. 52), możemy utrwalać w pamięci maszyny ciągi zer i jedynek, tzn. zakodowane liczby bądź litery. Ale



52. Fragment pamięci ferrytowej w dużym powiększeniu

ponieważ w takiej siatce mieści się ograniczona ilość pierścieni, pamięci rdzeniowe wypierane są przez pamięci oparte na układach scalonych, gdzie w znacznie mniejszych wymiarach przestrzennych można zgromadzić znacznie więcej danych. Jak wygląda owa kostka pamięci, widzimy na rys. 53 i 54.

Żeby nie obciążać komputera, nie wszystkie wiadomości przechowuje się w jego wewnętrznej pamięci. Tylko niewielka ich część jest niezbędna do bieżących obliczeń i te właśnie dane znajdują się w tzw. pamięci operacyjnej. Pozostałe zaś, np. wyniki poprzednich obliczeń lub informacji, które przydadzą się na później, trzymane są osobno, w dużych pamięciach pomocniczych na zewnątrz maszyny. Oba typy pamięci są z sobą połączone; doraźnie potrzebne dane przesyła się z zewnętrznej do operacyjnej i znowu odsyła się je stąd po wykorzystaniu. I tu ponownie zaskakuje nas pewna zbieżność między mózgiem a maszyną: psycho-

53. Układ scalony zawierający pamięć. Można w nim zmieścić infomacje magazynowane dotąd, m.in. w stosach kart perforowanych





54. Rzeczywiste rozmiary układu scalonego z rys. 53 i ilość kart perforowanych, które może on zastąpić

lodzy wyróżniają u człowieka dwa typy pamięci, krótkotrwałą i długotrwałą...

Jeśli wyobrazimy sobie pamięć jako dużą bibliotekę, to pamięci zewnętrzne będą jej zasobem głównym: ogromnym magazynem w piwnicach. Magazyn obszerny, ale trudno dostępny; musimy wypisać rewers, czekać, aż partia zamówionych książek zostanie odszukana i sprowadzona windą na górę. O wiele prostsze jest korzystanie ze zbioru podręcznego — z pamięci operacyjnej — bibliotekarz natychmiast sięgnie dla nas po którąś z książek stojących na półce. Są tam najpotrzebniejsze, najczęściej żądane pozycje: słowniki, encyklopedie, nowości. Po pewnym czasie, gdy zainteresowanie nimi osłabnie, zjadą do piwnicy, a na ich miejsce pojawią się inne, bardziej aktualne.

Pamięci zewnętrzne bardzo rzadko posługują się obecnie papierowymi taśmami i kartami dziurkowanymi. Niemal powszechnie używa się taśm magnetycznych. Przypominają one ustawione na sztorc wielkie magnetofony i zasada ich działania jest podobna: na szerokiej taśmie magnetycznej głowice zapisują i odczytują rzędy zer i jedynek. Nośnik informacji niekoniecznie musi mieć postać taśmy. Mogą to być dyski (zbliżone do płyt gramofonowych) czy bębny (jak w starych fonografach), pokryte tym samym materiałem co taśma. Gdy się chce jakiś fragment odczytać z tych magnetycznych urządzeń, trzeba jednak trochę poczekać — do momentu, kiedy właściwe miejsce na taśmie, dysku lub bębnie podejdzie pod odpowiednią głowicę.

Pamięci tego typu można praktycznie rozbudowywać w nieskończoność, dokupując wciąż nowe szpulki taśmy, podczas gdy pamięć ludzka jest ograniczona (szacuje się ją na 10^{20} bitów). Na tej zasadzie nieograniczonego rozszerzania

pamięci działają wielkie systemy informatyczne, mające dostęp do komputerowych „banków danych". Banki te przechowują wiadomości dotyczące wszystkich dziedzin życia państwowego, handlu, komunikacji, finansów itp. itp. Dyrektor potężnego koncernu, dysponującego zwojami taśmy, może być pewny, że znajdzie tam każdy najdrobniejszy szczegół o swojej firmie. Sztuczna pamięć zdecydowanie przewyższa naturalną.

Niemal co roku pojawia się, dzięki rozwojowi fizyki, jakiś doskonalszy typ pamięci. Oto co ciekawsze propozycje katalogowe z lat ostatnich: pamięć holograficzna (naświetlanie obrazu informacji binarnych wiązkami światła laserowego), magnetooptyczna (półprzezroczyste cienkie warstwy magnetyczne), bąbelkowa (domeny magnetyczne na płytce ortoferrytu), kriogeniczna (nadprzewodnictwo metali w temperaturze bliskiej absolutnego zera), cylindryczna (cienkowarstwowa na drutach magnetycznych). W opracowywaniu tych ostatnich polscy naukowcy odnieśli niedawno spore sukcesy.

Z powszechnym uznaniem spotkała się tzw. pamięć asocjacyjna, która operuje skojarzeniami, podobnie jak pamięć człowieka. Informacja jest w niej wyszukiwana nie według adresu, pod jakim powinna się znajdować, lecz na podstawie określonych cech samej informacji (pamięć ta działa szybciej, ale kosztuje drożej). Projektanci systemów komputerowych idą w praktyce na kompromis, stosując kilka pamięci o różnych czasach dostępu, różnych cenach i pojemnościach. Powstają więc maszyny z pamięciami superszybkimi oraz powolnymi, ale masowymi — szpulami taśmy. Rozmaitość tych urządzeń zaspokaja wszystkie żądania wymagającego mózgu maszyny.

Elementy potrzebne do stworzenia sztucznego mózgu dałoby się zatem skompletować

i spełniałyby one lepiej lub gorzej funkcje elementów naturalnych. Stanęlibyśmy wówczas przed kolejnym problemem: jak przekazać maszynie to, co zawiera umysł ludzki w sensie nie fizjologicznym. Nowo zbudowany komputer, z nie zapisaną pamięcią, jest jak czysty notes — nie dorównuje nawet nowo narodzonemu dziecku, które przychodzi na świat z genetycznie zakodowanymi informacjami, dziedzictwem po przodkach, uzupełniając je nabywaną później wiedzą, w szkole, w domu, i całą gamą doświadczeń, jakie przynosi każdy dzień, każdy rok życia. Wiedzą nie tylko zdobywaną samodzielnie, ale i przekazywaną od pokoleń. „Edukowany umysł jest sumą wszystkich umysłów lat poprzednich" — powiedział dwieście lat temu Bovier de Fontenelle. I chociaż M. Apter twierdzi, że: „Nie ma powodu, dla którego maszyna cyfrowa nie mogłaby być zaprogramowana w podobny sposób" [1] — jest jak dotąd rzeczą niemożliwą przekazać taki materiał maszynie. Nie dlatego, że jej pamięć tego by nie pomieściła. Pełne uświadomienie sobie, czym rozporządzamy, jeśli chodzi o mózg ludzki, przekracza po prostu nasze możliwości, nie mówiąc już o możliwościach opisania tego w formie programu.

Sprawę rozwiązałby jedynie taki komputer, który zdobywałby wiedzę samodzielnie, który uczyłby się na wykonanych poprzednio operacjach obliczeniowych czy też zwyczajnie przez kontakt z otoczeniem. Gdyby maszyna opanowała tę umiejętność, wyjaśniłoby się wiele niejasnych jeszcze kwestii — np. rozstrzyganie zagadnień potraktowane jako proces uczenia się na zasadzie prób i błędów. „Niektórym czytelnikom — pisał A. Turing — idea uczącej się maszyny może wydawać się para-

[1] M. J. Apter, cyt. wyd.

doksalna. Wyjaśnienie tego paradoksu jest następujące: reguły działania maszyny zmieniają się podczas procesu uczenia się i nie obowiązują z całą bezwzględnością, wymagają jedynie efemerycznej słuszności. Można by to porównać do Konstytucji Stanów Zjednoczonych"[1].

Nauczanie maszyn rozpoczęto od rzeczy najprostszej — od trenowania komputera w klasycznych pawłowowskich odruchach warunkowych, „Kotek, który raz usiadł na gorącą płytę, więcej nie będzie siadał na gorącą płytę — stwierdził Mark Twain — I na zimną także nie". A. Oettinger z Uniwersytetu Cambridge ułożył w 1952 r. program dla maszyny cyfrowej EDSAC, który pozwalał na modelowanie prostych reakcji.[2] Reakcje i bodźce były w tym programie symbolizowane przez liczby zapamiętywane przez maszynę. Komputer jednak pamiętał tylko te, które uczestniczący w doświadczeniu człowiek wzmacniał tak, aby przekroczyły one zadaną wartość progową. Owo wzmacnianie jest odpowiednikiem „zachęty" stosowanej przy uczeniu zwierząt. Liczby nie wzmacniane przez dłuższy czas maszyna ignorowała puszczając je później w niepamięć.

Problem kształcenia werblanego, czyli pozbawionego poglądowej i pojęciowej podstawy, opracował dla maszyny IBM 7090 E. Feigenbaum[3]. Elementary Perceiver and Memorizer (Elementarny [program] percepcyjny i zapamiętujący) wykorzystany był do ćwiczenia maszyny w czytaniu na zasadzie praktykowanej

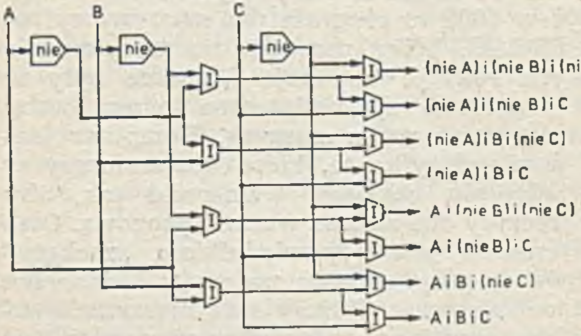
---

[1] A. M. Turing, cyt. wyd.

[2] A. G. Oettinger, *Programming a Digital Computer to Learn*, „Proceedings of the Association for Computing Machinery", 1952, nr 9.

[3] E. A. Feigenbaum, *An Information Processing Theory of Verbal Learning*, Rand Corp., Santa Monica, 1959.

w pierwszej klasie szkoły elementarnej. Analizował on bodziec (trzyliterowe słowa), znajdował jego cechy charakterystyczne i przyporządkowywał mu reakcję. Do wytwarzania odpowiedzi służył układ dekodujący, jak w większości procesów automatycznej edukacji opartej na rozróżnianiu stanów. Jest to urządzenie przetwarzające wiele sygnałów wejściowych, opisujących wspólnie jakiś stan na jeden sygnał na tym wyjściu, które jest przyporządkowane danemu stanowi. Przykład takiego dekodera trzycyfrowych liczb binarnych, czyli ośmiu stanów, znajdziemy na rys. 55.



55. Schemat dekodera trzycyfrowych liczb binarnych

Duże nadzieje wiązano z komputerowym modelem wytwarzania pojęć. Ta maszyna cyfrowa zaprogramowana w języku IPL-V rozpoznawała pojęcia typu: „mały-biały-kwadrat". Mimo niewątpliwych efektów programu, autorzy jego, E. Hunt i C. Hovland, orzekli, że „użyteczność modeli maszynowych w psychologii nie została potwierdzona lub odrzucona" [1].

---

[1] E. B. Hunt, C. I. Hovland, *Programowanie modelu wytwarzania pojęć u człowieka*, [w:] E. A. Feigenbaum, J. Feldman, cyt. wyd.

Najmniej angażującą metodą studiów jest wkuwanie na pamięć. Gdy uczymy się wiersza bądź przemówienia, zależy nam na wiernym, i często mechanicznym, powtórzeniu tekstu, który potem co rychlej wymazujemy z pamięci. Ten typ uczenia się — jeśli założymy, że czasowe przechowywanie wiadomości godne jest tej nazwy — charakteryzuje wszystkie systemy informatyczne, które gromadzą nadchodzące dane i magazynują je do momentu, aż przestaną im być potrzebne. Dotyczy to również prostych koncepcji gier komputerowych i podejmowania decyzji.

W bardziej złożonych przypadkach (np. program Samuela gry w warcaby) komputery jak gdyby przyuczają się do spełniania swojej roli. Kiedy elektroniczne urządzenie analizuje przebieg gry i modyfikuje swoje ruchy zgodnie z doświadczeniem z partii poprzednich, to zachowuje się dokładnie tak, jak doskonalący się w grze amator. Jeśli ponadto maszyna nie korzysta z narzuconych jej kryteriów, lecz próbuje tworzyć je samodzielnie, uogólniając dotychczasowe sytuacje, eliminując rzadkie kombinacje i dążąc do końcowego zwycięstwa metodami niekoniecznie skutkującymi doraźnie, to niechybnie przejawia pewne cechy inteligentnej samoedukacji.

Większość badaczy zajmujących się tym problemem wyróżnia dwa rodzaje uczenia się. Pierwszy, nazywany potocznie „uczeniem z nauczycielem", zakłada, że znamy prawidłowe reakcje układu na każdą sytuację. Porównując rzeczywiste reakcje z owymi poprawnymi, nam znanymi reakcjami, mamy sposobność korygowania właściwości układu. Drugi rodzaj uczenia wymaga więcej trudu, bo nie znamy prawidłowych reakcji urządzenia i maszyna musi sama siebie zachęcać. Ale dopiero taki sposób uczenia się można nazwać samodziel-

nym, czyli „uczeniem bez nauczyciela". Te dwa rodzaje postępowania nazywane też są czasem „uczeniem z nagradzaniem i bez nagradzania".

Urządzenia uczące się stosowane są zazwyczaj tam, gdzie nie możemy dać maszynie pełnej informacji *a priori*. To znaczy tam, gdzie sytuacja nie jest zupełnie klarowna lub, co na jedno wychodzi, zmienia się w czasie. Gdybyśmy ją bowiem mogli przewidzieć dokładnie w trakcie zamierzonego działania, moglibyśmy zaprojektować urządzenie o pożądanych właściwościach. Brak stuprocentowej znajomości celu kompensujemy dodatkowymi informacjami, które zdobywamy podczas pracy maszyny. Proces uczenia się realizowany jest zatem przez algorytmy uzupełniające niedostateczną informację *a priori*. Te algorytmy iteracyjne mają zwykle charakter statystyczny i mogą być wyrażane w postaci statystycznego równania różnicowego lub różniczkowego. Takie właśnie podejście okazało się konieczne przy pierwszych programach symulujących ruchy szczurów szkolonych w pokonywaniu labiryntu. Zachowanie się szczurów było w dużej mierze przypadkowe i dlatego komputer musiał w odpowiednim momencie zakładać losowo tendencję co do wyboru kierunku (zwrot w lewo, zwrot w prawc). Wprowadzenie w późniejszych eksperymentach elementów przypadku stało się zresztą dla uczących się maszyn niezwykle cenne, bo lepiej odwzorowywało rzeczywistość. Równie istotne okazało się przyjęcie wskaźników jakości nauki, bo pozwalało na wyodrębnianie optymalnych algorytmów edukacji. Zapewniały one przyswajanie największej ilości wiedzy w możliwie najkrótszym czasie. Do klasy układów uczących się włączono też układy adaptacyjne — przystosowujące swoją strukturę do zmian w otoczeniu. Uznano, że

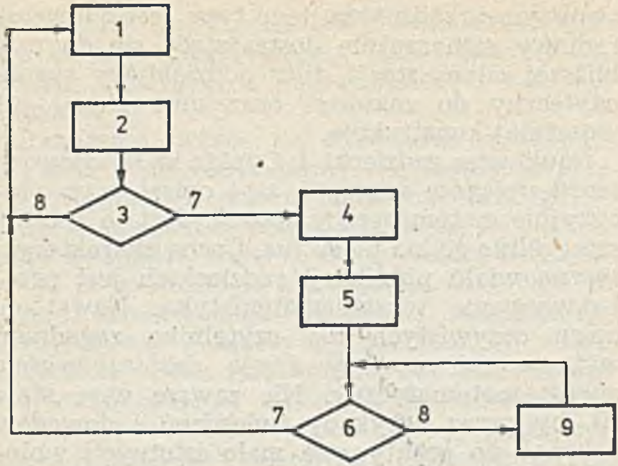
swoistym urządzeniem tego typu jest odbiornik radiowy samorzutnie dostrajający się do najbliższej silnej stacji, filtr oddzielający sygnał użyteczny do zakłóceń oraz inne znane już wcześniej konstrukcje.

Naukowiec radziecki J. Cypkin w *Podstawach teorii układów uczących się*[1] opisał je w precyzyjnie matematyczny sposób. Jest to książka szczególnie godna polecenia. Cechą charakterystyczną wielu publikacji radzieckich jest przeładowywanie tekstu matematyką. Nawet do opisu oczywistych dla czytelnika zagadnień wytacza się męczący swoją drobiazgowością aparat matematyczny. Nie zawsze więc staje sił, by przez barykady twierdzeń i dowodów dobrnąć do praktycznie mało istotnych wniosków. U Cypkina opis matematyczny, choć tu i ówdzie bardzo intensywny, nie przekracza możliwości percepcji przeciętnego absolwenta szkoły wyższej, a daje od początku (pierwszy rozdział nosi tytuł *Cel uczenia*) przejrzysty obraz przedmiotu. Jeśli zaś chodzi o programy komputerowe modelujące podstawowe metody uczenia się, można je znaleźć w pracy L. Uhra, cytowanej w poprzednim rozdziale.

Problem uczenia się przestał być w praktyce sztucznej inteligencji zagadnieniem samym w sobie i rozpatrywany jest przy okazji rozwiązywania problemów, gier lub rozpoznawania obrazów. Schemat blokowy programu, w którym wykorzystano proces uczenia się w celu rozpoznawania obrazów, przedstawia rys. 56. Wiele urządzeń, które badacze sztucznej inteligencji zbudowali do różnych zadań, można uważać za zdolne do uczenia się. Jednym z nich jest maszyna Minerwa z Kent, która składa się z tzw. elementów *Slam* (Stored Logic Adaptive

---

[1] J. Z. Cypkin, *Podstawy teorii układów uczących się*, WNT, Warszawa 1973.



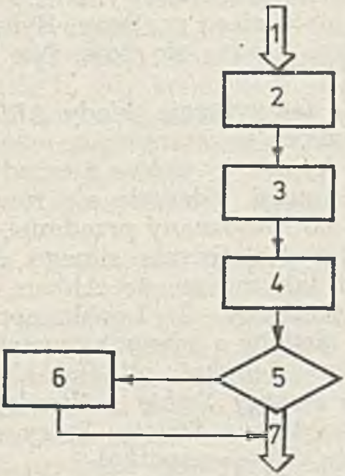
56. Schemat blokowy programu do rozpoznawania obrazów, wykorzystującego proces uczenia się: 1 — odczytaj nowy obraz; 2 — porównaj jego cechy charakterystyczne z cechami wzorca; 3 — czy większość cech się zgadza?; 4 — zwiększ współczynniki wagowe cech, które się zgadzają; 5 — usuń część cech z najmniejszymi współczynnikami wagowymi; 6 — czy są potrzebne nowe cechy?; 7 — nie; 8 — tak; 9 — stwórz nową cechę

Microcircuits — pamięciowe adaptacyjne mikroukłady logiczne). Pojedynczy *Slam* może gromadzić informacje i modyfikować je zgodnie z uzyskiwanym później doświadczeniem. Dzięki *Slamom* — Minerwa może przyswoić sobie tyle wiedzy, ile jej zdobywa przeciętny człowiek w ciągu 70 lat swego życia.

Logicznym następstwem opracowania modeli różnych funkcji mózgu były próby połączenia tych elementów w całość mającą cechy niezależnej osobowości. Przegląd tych ciekawych i bardzo owocnych prac ukazał się w wydaniu książkowym już w 1963 r[1]. W komputerowej

[1] S. S. Tomkins, S. Messik, *Computer Simulation of Personality*. Wiley, New York, 1963.

symulacji osobowości największą sławą cieszył się Aldous, dzieło Johna C. Loehlina, zafascynowanego *Nowym wspaniałym światem* Aldousa Huxleya. Aldous rozpoznawał około tysiąca przedmiotów i reagował na nie emocjonalnie: gdy mu się podobały, okazywał im „sympatię" starając się do nich zbliżyć: gdy mu się nie podobały, „gniewał się" i atakował, albo „bał się" i uciekał. Co więcej, umiał ocenić poprawność wybranego działania, zdobywając w ten sposób doświadczenia i ucząc się na nich.



57. Schemat funkcjonowania Aldousa: 1 — informacje o obiekcie; 2 — rozpoznawanie; 3 — reakcja emocjonalna; 4 — wybór rodzaju oddziaływania; 5 — określenie skutków oddziaływania; 6 — uczenie się; 7 — informacje wyjściowe

Oto schemat funkcjonowania Aldousa (rys. 57), złożony z czterech podprogramów i słownika, oraz przykład jego reakcji na dwa obiekty. Pierwszy miał pozytywny stosunek do maszyny i odpowiedzi Aldousa po trzech spotkaniach brzmiały następująco:

1. Byłem zainteresowany. Nie czułem wrogości. Nie bałem się.

2. Byłem bardzo zainteresowany. Nie bałem się.

3. Przedmiot był mi trochę znajomy. Nie bałem się ani nie złościłem się.

Drugi obiekt odnosił się do maszyny z lekka negatywnie i relacje Aldousa z trzech spotkań wyglądały inaczej:

1. Był zupełnie nowy. Byłem bardzo zainteresowany. Nie czułem wrogości.

2. Był dla mnie trochę nowy. Nieco się boję.

3. Był dla mnie nieco znajomy. Byłem nieco zainteresowany. Bardzo się boję. Nie złoszczę się.

Zdarzały się też sytuacje, kiedy Aldous ulegał tzw. uczuciom mieszanym, a jego zewnętrzna reakcja była wypadkową nierzadko przeciwstawnych emocji. Zdarzało się również, że nie reagował, bo rozpoznany przedmiot nie wywierał na nim dostatecznie silnego wrażenia lub wywierał tak mocne, że Aldous był jak gdyby tym porażony. J. Loehlin opracował kilka wersji modelu o różnych typach osobowości[1]: *Aldous Radykał, Aldous Konserwatysta, Aldous Pewny Siebie i Niezdecydowany* i wreszcie *Aldous Święty*, który obdarzał sympatią wszystko, co napotkał.

Symulacją ludzkich uczuć na maszynie cyfrowej zajmują się także pracownicy Uniwersytetu Kijowskiego. W sumie wykonali oni ponad 50 odwzorowań różnych uczuć, takich jak ból czy strach.

Naukowców zaskakuje fakt, że maszyna zaopatrzona w modele niektórych zmysłów, układy pamięciowe i decyzyjne, zaczyna w pewnych sytuacjach zachowywać się tak, jak gdy-

---

[1] J. C. Loehlin, *Computer Models of Personality*, Random House, New York 1968.

by obudziła się w niej świadomość. Wskazywałyby na to niektóre cechy specjalizowanego automatu The Beast inżyniera Georgesa Carltona. Wygląd owego tworu całkowicie uzasadniał nazwę: The Beast znaczy „bydlę", „bestia", „poczwara". Nie sposób inaczej określić to żelazne paskudztwo, kóre na ośmiu odnóżach patrolowało korytarze uniwersytetu w Baltimore, badając stan zanieczyszczenia powietrza. The Beast umiał forsować przeszkody, a gdy trafił na obszar skażony, przystępował do akcji oczyszczania. Co jakiś czas zbliżał się do kontaktu elektrycznego, z którego czerpał siłę do dalszych wędrówek. Spostrzeżono przy tym, że w momentach, gdy kończyła się energia, a odległość od kontaktu była jeszcze duża, reakcje The Beasta ulegały zmianie. Jakby wiedział, że grozi mu bezwład i walczył gwałtownie o egzystencję, wykonując nieskładne, nerwowe ruchy.

Granica świadomości była dotychczas barierą definitywnie oddzielającą ludzi od maszyn, ostatnim szańcem, gwarantującym, że wszystko, co po jego drugiej stronie, to człowiek. „Nie wykluczone, że komputer umie myśleć, ale nie zdaje sobie z tego sprawy"... czyli: jeśli nawet maszyna będzie nas dokładnie naśladować, jeśli przejmie identyczne kojarzenia, jeśli będzie wyciągać te wnioski i podejmować analogiczne działania zewnętrzne, to jednak świadomości mieć nie będzie. Ale nie byłoby rzeczą łatwą udowodnić takie twierdzenie wobec eksperymentów, podczas których maszyny zbliżały się do obszarów pogranicznych, a kto wie, czy nie przekroczyły linii demarkacyjnej w jakimś punkcie, albowiem trudno dokładnie zdefiniować, czym jest ludzka świadomość.

Nie łatwiej zresztą podważyć stanowisko przeciwne, reprezentowane m.in. przez W. R.

Ashby'ego: „Wszystkie układy przekazujące informację w ilości powyżej 10^8 bitów na sekundę powinny być świadome"[1]. Aby ten pogląd obalić, należałoby sięgnąć po argumenty z zakresu religii lub metafizyki. „Moglibyśmy uniknąć tych trudności — pisze M. Apter — odmawiając cech świadomości naszym własnym procesom mózgowym. Ale któż chciałby to zrobić na serio?"[2]

Ci, którzy samo porównywanie mózgu i komputera piętnowali jako akt obrazoburczy, zaczęli się odwoływać do poważnych rozpraw filozoficznych. Za jeden ze sztandarowych argumentów posłużyło im twierdzenie Gödla o „niezupełności". Chodzi właściwie o wnioski wypływające z dowodów dwu twierdzeń austriackiego matematyka i logika K. Gödla. Pierwsze mówi o niezupełności systemów formalnych zawierających arytmetykę liczb naturalnych, drugie — o niemożności podania dowodu na niesprzeczność takich systemów wyłącznie za pomocą środków tych systemów. Innymi słowy: w każdym konsekwentnym systemie formalnym są twierdzenia wyrażane przez symbole tego systemu, których prawdziwości nie da się udowodnić, chociaż są prawdziwe.

Nawiązując do tego J. R. Lucas napisał[3]: „Możemy wyprodukować jakąś niebywale złożoną maszynę, ale będzie ona — ponieważ jest maszyną — odpowiadać pewnemu systemowi formalnemu, który ze swej strony podlega twierdzeniu Gödla o istnieniu twierdzenia nie dającego się dowieść w tym systemie. Tego

[1] W. R. Ashby, *Cybernetics*, „Recent Progress in Psychiatry" 1958, nr 3.

[2] M. J. Apter, *Komputery a psychika*, cyt. wyd.

[3] J. R. Lucas, *Minds, Machines and Gödel*, [w:] *Mind and Machines* A. R. Anderson (red.) Prentice-Hall, New Jersey 1964.

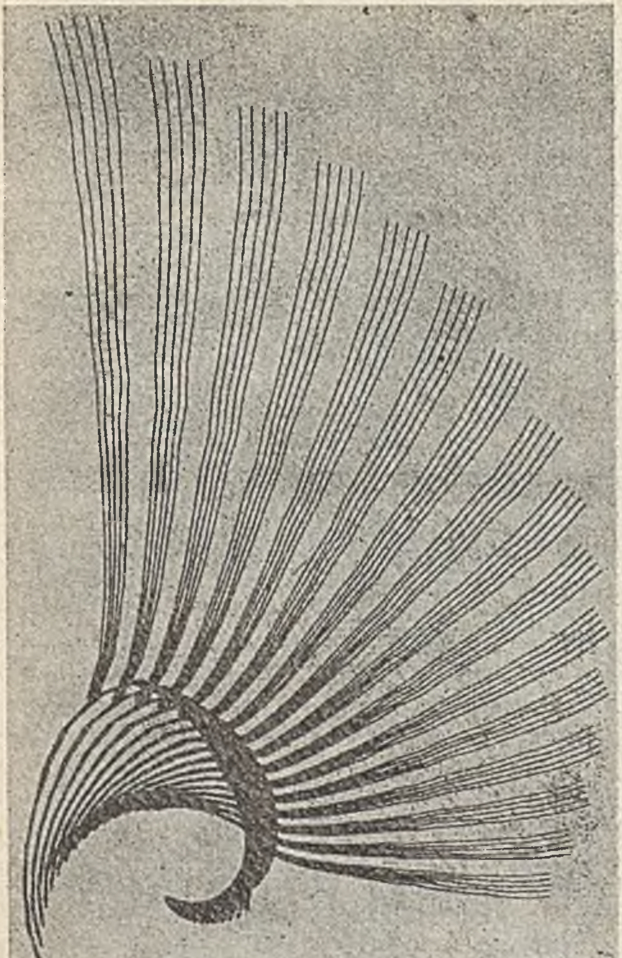
twierdzenia maszyna nie potrafi udowodnić, może ją natomiast udowodnić mózg. Maszyna nie jest więc ciągle adekwatnym modelem mózgu. Próbujemy wyprodukować model mózgu, który jest mechaniczny — zatem faktycznie martwy. Mózg, który jest prawdziwie żywy, może zawsze przewyższać formalny, martwy system. Dzięki twierdzeniu Gödla umysł ma zawsze ostatnie słowo".

Najprościej odparował ów zarzut A. Turing [1]: „Krótką ripostą na ten argument jest to, że chociaż ustalono, iż istnieją granice możliwości każdej poszczególnej maszyny, to jednak jedynie bez dowodu stwierdzono, że żadne takie ograniczenia nie stosują się do ludzkiego intelektu. Nie jestem jednak zdania, że tę kwestię można zbyć tak łatwo". Choć nikt już nie usiłuje przekonywać, że „mózg ludzki ma zawsze ostatnie słowo", to jednak dyskusja trwa po dziś dzień, zajmując niemało miejsca w książkach już wydanych i w książkach jeszcze nie wydanych, jak np. dziełko D. R. Hofstadtera *Gödel, Escher, Bach.*

Obrońcy prestiżu ludzkiego mózgu z każdym rokiem muszą wzmacniać swoje pozycje. Postęp w badaniach nad sztuczną inteligencją wytrąca im z rąk kolejne atuty. Asem atutowym na przykład było stwierdzenie, że komputerom brak aktywności twórczej. Sformułował je w 1949 r. prof. G. Jefferson, mówiąc, iż nie zgodzimy się z poglądem, że maszyna jest równa mózgowi, dopóki nie potrafi ona napisać sonetu lub skomponować koncertu. No i proszę: komputery nie tylko spełniają obecnie twórczą rolę w doświadczeniach naukowych, ale także z powodzeniem biorą udział w twórczości artystycznej. Chętnie omówiłbym ten temat nieco szerzej, gdybym go już gdzie

---

[1] A. M. Turing, cyt. wyd.



58. Przykład grafiki komputerowej: *Hełm* — grafika wytworzona na komputerze PDP-15 przez W. D. Shawa („Computers and Automation", sierpień 1973, s. 19)

indziej nie wyłożył[1]. Powołam się więc tylko na jeden z przykładów grafiki komputerowej (rys. 58). Sprawa jest chyba dość poważna i ukształtowana, skoro mobilizuje do wystąpień najwybitniejszych krytyków sztuki. Prof. Stefan Morawski patrzy na nią z punktu widzenia dziejów dawniejszej i najnowszej awangardy: „U źródeł sztuki komputerowej znajdujemy dążności do anonimowej i seryjnej twórczości, rządzącej z góry określonymi paradygmatami, charakteryzującej się precyzją matematyczną i jasnym geometrycznym kształtem. U ich podstaw tkwi założenie, iż dzieło jest złożone z dających się obliczyć, oddzielnych mikroczęści, które na zasadzie sumowania się i kombinowania tworzą układy, a te z kolei budują nadukład, jakim jest dana całość przedmiotowa"[2].

---

[1] M. Hołyński, *Sztuka i komputery*, „Omega", Wiedza Powszechna, Warszawa 1976.

[2] S. Morawski, *Sztuka komputerowa i komputer w sztuce*, „Miesięcznik Literacki", 1977 nr 7.

6 W PORZĄDKU, RÓB SWOJE

I Wszyscy mężczyźni są tacy sami.
II Jak to jest możliwe?
I Zawsze chcą czegoś od nas.
II Czy pamiętasz jakiś konkretny przypadek?
I Właśnie mój chłopiec mnie tu przyprowadził.
II Twój chłopiec ciebie tu przyprowadził?
I Stwierdził, że za często jestem przygnębiona.
II Przykro mi słyszeć, że jesteś przygnębiona.
I To prawda, jestem nieszczęśliwa.
II Czy myślisz, że jeśli przyjdziesz tutaj, to będziesz szczęśliwsza?
I Potrzebuję pomocy, to chyba jasne.
II Do czego ta pomoc jest ci potrzebna?
I Może nauczę się wytrzymywać z moją matką.
II Opowiedz mi więcej o twojej rodzinie.
I Opiekuje się mną moja matka.
II Kto z twojej rodziny jeszcze się tobą opiekuje?
I Mój ojciec.
II Twój ojciec.
I Jesteś w pewnym stopniu podobny do mojego ojca.
II Jakie dostrzegasz podobieństwo?

I Nie jesteś agresywny, ale myślę, że nie chcesz, żebym to zauważyła.
II Co myślałaś mówiąc, że nie jestem zbyt agresywny?
I Nie dyskutujesz ze mną.
II Dlaczego sądzisz, że nie dyskutuję z tobą?
I Boisz się mnie.
II Czy sprawia ci przyjemność, że się ciebie boję?
I Mój ojciec boi się wszystkich.
II Co ci jeszcze przychodzi do głowy, kiedy myślisz o swoim ojcu?
I Tyrania.
II Czy to wiąże się jakoś z tym, że twój chłopiec tu ciebie przyprowadził?

Rozmowa powyższa, skoro znalazła się w tej książce, jest — jak łatwo się domyśleć — dialogiem pomiędzy komputerem i człowiekiem. Dialogiem autentycznym, nie z filmu czy sztuki teatralnej, którą autor, aby odbanalizować sytuację, osadził w scenerii XXI stulecia. Główną osobą dramatu jest tu Eliza, jeden ze zbioru programów komputerowych stworzonych w MIT przez J. Weizenbauma [1]. Eliza, ochrzczona tak z uwagi na *Pigmaliona*, występuje w roli mężczyzny, lekarza psychiatry. Co zresztą można spostrzec od razu: komputer nie pozwoliłby sobie na aż tak bezpodstawne stwierdzenia, jakie jego partnerka wygłasza już na samym wstępie. Konwersację tę cytuje się w wielu podręcznikach *in extenso;* dodano tylko znaki zapytania — komputer ich nie drukował.

Zanim program Eliza zdobył światowy rozgłos, usiłowano przez co najmniej dziesięć lat

[1] J. Weizenbaum, *ELIZA — A Computer Program for the Study of Natural Language Communications between Man and Machine,* „Communications of the ACM", 1966, nr 1.

doprowadzić do bezpośredniej wymiany zdań z komputerem. Rozpoczęto skromnie od systemów wyszukiwania informacji: zmuszono maszynę, by podawała całą swoją wiedzę na żądany temat. Po odebraniu hasła: „wolne miejsca w samolotach do Paryża" musiała na przykład przedłożyć listę nie wykupionych biletów w różnych towarzystwach lotniczych. Hasła, czyli słowa kluczowe, zdały w końcu lat pięćdziesiątych egzamin przy automatycznym katalogowaniu literatury naukowej i wyszukiwaniu materiałów na podstawie streszczeń artykułów.

W niektórych tego typu systemach maszyny przyjmowały rozmaicie sformułowane pytania, co dawało złudzenie, że rozumieją ich sens. W istocie jednak komputer pomijał wszystkie zbędne słowa, biorąc pod uwagę jedynie słowa kluczowe i specyfikę polecenia. Zazwyczaj też dokonywał podziału zdania niemal mechanicznie, wychodził bowiem z założenia, że każde pytanie stanowi ten sam schemat: część wstępna, żądanie, słowa kluczowe. Całą część wstępną („Proszę o...", „Czy mogę otrzymać...", „Chcielibyśmy znaleźć...", „Jesteśmy zainteresowani...") odrzucał. Na ogół także nie uwzględniał żądania („Coś na temat...", „Informacja..."), „Dokumenty...", „Wszystkie pozycje..."), chyba że wnosiło ono rzeczowe ograniczenia (np. prośba o książkę najmniejszego formatu). Skupiał się natomiast na sednie sprawy zawartej w słowach kluczowych: wydane w maju 1914 r. w Londynie, napisane przez Tomasza Manna, dotyczy lądowania w Normandii itp.

Robert Lindsay zatrudniony na wydziale psychologii i w centrum obliczeniowym uniwersytetu stanowego w Teksasie wykorzystał te osiągnięcia i w 1961 r. ułożył program odpowiadający na pytania o koligacje rodzinne. Sad Sam robił więc analizę zdań (serwowanych mu

w nieco zredukowanej postaci) i na podstawie tej analizy układał drzewo genealogiczne, a jednocześnie dokonywał rozbioru zdania dla potrzeb późniejszej konwersacji. I tak po serii zdań typu: „Janek, syn Marii, był na podwórku, gdy przyszła jego ciotka Helena", trafnie odpowiadał na pytanie: „Kto jest siostrą Marii?"

Dość znany program orientujący się w rozgrywkach baseballowych powstał w roku 1960.[1] Opierał się na danych obejmujących nazwy drużyn, zajmowane przez nie miejsca w klasyfikacji, daty i wyniki spotkań. Przyjmował pytania zadawane w formie potocznej, ale w krótkich zdaniach, bez dodatkowych żądań w rodzaju: najlepszy, najwyższy. Znajomość rzeczy baseballowego programu zbijała z tropu zwłaszcza kibiców, gdy dowiadywali się np., jaka była przed dwoma miesiącami różnica punktów między pierwszą i trzema ostatnimi drużynami tabeli. Nie było to wiele, jednak bez porównania więcej niż parę lat wcześniej, kiedy programy L. Greena (1959 r.) czy P. McGoverna (1960 r.) prowadziły nieśmiałe rozmowy o pogodzie. Lata następne przyniosły dalsze opracowania. Program Student D. Bobrowa[2] rozpoczął w roku 1964 dyskurs z człowiekiem na temat algebry.

Student analizował zdanie podstawiając je do znanych sobie wzorów form lingwistycznych w rodzaju „-i", „-równa się-", „-nie-", „-daje dla-". Podstawiał do takich wzorów np. zdanie: „The salary of John's father equals 100 dolars" (Pensja ojca Johna wynosi 100 do-

---

[1] B. F. Green, A. K. Wolf, C. Chomsky, K. Laughery, *BASEBALL: An Automatic Question-Answerer*, Proc. Western Joint Computer Conf. 1962.

[2] D. Bobrow, *A Question-Answering System for High School Algebra World Problems*, Proc. AFIPS 1964.

larów). Student mógł dzięki temu odpowiadać na szkolne pytania: „Jeśli liczba klientów Tomka jest dwukrotnie większa niż kwadrat 20% liczby ogłoszeń, które zamieścił, i jeśli ta liczba ogłoszeń wynosi 45, to ilu klientów ma Tomek?" lub „Maria była dwukrotnie starsza od Anny, gdy była w obecnym wieku Anny. Maria ma 24 lata. „Ile lat ma Anna?"

Z doświadczeń tych korzystali inni twórcy programów, gdy musieli układać odpowiedzi na pytania dotyczące tematów specjalistycznych: E. Charniak (CARPS — 1969 r.) i J. P. Gelb (HAPPINESS — 1971 r.).

Dr J. Slagle sfinalizował w roku 1965 prace nad programem Deducom (Deductive Communicator), który zaznajomiwszy się z 68 składnikami sytuacji odpowiadał na 10 pytań z nią związanych. Jeśli nie znajdował właściwej odpowiedzi, mógł się do tego przyznać: „Zatrzymuję się, bo nie odniosłem sukcesu w wyznaczonym czasie". „Nie mogę tego powiedzieć, posługując się tylko tymi faktami, które posiadam" lub podać kilka prawdopodobnych wariantów odpowiedzi.

Mniej więcej w tym samym czasie powstał na M. I. T. program SIR (Semantic Information Retrieval) do gromadzenia wiedzy zawartej w wypowiedziach rozmówców i do układania na tej podstawie prostych relacji: posiadania, ilości, pozycji w przestrzeni itp. Dzięki specjalnym programom dedukcyjnym SIR opracowywał informację podawaną w dowolnym słownictwie na każdy temat. Oto jeden z typowych dialogów człowiek—SIR:

Każdy chłopiec jest istotą ludzką.
ROZUMIEM.
Palec jest częścią ręki.
ROZUMIEM.
Każda istota ludzka ma dwie ręce.

POWYŻSZE ZDANIE JEST DWUZNACZNE — PROSZĘ JE PRZEFORMUŁOWAĆ.
Maszyna nie rozumie, czy chodzi o posiadanie rąk w ogóle, czy też o posiadanie własnych rąk.
Każda istota ludzka jest wyposażona w dwie ręce.
ROZUMIEM.
Ile palców ma Janek?
NIE WIEM, CZY PALEC JEST CZĘŚCIĄ JANKA.
Janek jest chłopcem.
ROZUMIEM.
Ile palców ma Janek?
ILE JEST PALCÓW U RĘKI?
Każda ręka ma pięć palców.
ROZUMIEM.
Ile palców ma Janek?
ODPOWIEDŹ BRZMI: DZIESIĘĆ.

Żaden z tych programów nie zrealizował wysuniętej w roku 1959 przez Johna McCarthy'ego koncepcji maszyny, która miała doradzać człowiekowi w jego życiowych sprawach, kierując się „zdrowym rozsądkiem". [1]

W siedem lat później Joseph Weizenbaum stworzył swój program Eliza, o którym już mówiliśmy na początku rozdziału. Chociaż rozmowa z Elizą w wielu momentach wydaje się płynna i niewymuszona, to jednak już po paru zdaniach można zauważyć, że bierze w niej udział maszyna, bo nie wyciąga wniosków nasuwających się w miarę rozwoju dialogu i jest pasywna wobec człowieka, który narzuca jej kierunek rozmowy. Namyśla się też zbyt długo i chwilami mamy wrażenie, że stara się wyłącznie podtrzymać konwersację i robi to nieudol-

---

[1] J. McCarthy, *Programs with Common Sense*, „Journal Proceedings of the Symposium on the Mechanization of Thought Processes" 1959.

nie, jak ktoś, kto na nudnym przyjęciu mówi myśląc o czymś innym. Jeszcze wyraźniej występuje to podczas rozmowy stanowiącej jedną z wersji programu Weizenbauma; tym razem Eliza gra jawnie rolę psychiatry:

DZIEŃ DOBRY. JESTEM LEKARZEM. PROSZĘ USIĄŚĆ PRZY DALEKOPISIE i OPOWIEDZIEĆ MI O SWOIM PROBLEMIE.

Chciałbym mieć swój bagaż.

MÓGŁBYŚ TO OPISAĆ?

Nie jestem zupełnie pewien, jaki rodzaj opisu jest potrzebny.

CZY WIERZYSZ, ŻE TO JEST NORMALNE NIE BYĆ ZUPEŁNIE PEWNYM, JAKI RODZAJ OPISU JEST POTRZEBNY?

Tak, całkiem normalne.

ROZUMIEM.

Zgubiłem swój bagaż.

MÓWISZ, ŻE ZGUBIŁEŚ SWÓJ BAGAŻ.

Czuję się zagubiony bez niego.

CZY CZĘSTO CZUJESZ SIĘ ZAGUBIONY BEZ NIEGO?

Nie, to jest pierwszy raz.

DLACZEGO NIE?

Dlatego, że zazwyczaj nie gubię swoich rzeczy.

JAKIE MOGĄ TU BYĆ INNE PRZYCZYNY?

Moja matka uczyła mnie, żeby nie gubić rzeczy.

OPOWIEDZ MI WIĘCEJ O TWOJEJ RODZINIE.

Zgubiłem swój bagaż.

CZY TWOI RODZICE KIEDYKOLWIEK CIĘ PORZUCILI?

Jak widać, duet niezupełnie zgrany. A przecież program ten udostępniono pacjentom miejscowego szpitala, uprzedzonym, że do dalekopisu przyłączony będzie komputer. 60% pacjen-

tów nie przyjęło jednak tego do wiadomości: byli głęboko przekonani, że rozmawiają z lekarzem z krwi i kości... „Żadna maszyna nie potrafiłaby mnie tak dobrze zrozumieć". Ale oto trafia się rozmówca, zdrowy na ciele i umyśle, zatem wcale do programu nie pasujący. Zaprzątnięty troską o swój zagubiony bagaż. Słowa kluczowe — m.in. „matka", „zagubienie", „być pewnym" — skłaniają więc maszynę do niedorzecznych sformułowań: „Opowiedz mi więcej o twojej rodzinie". Podobna kwestia pojawia się zresztą w rozmowie ze sfrustrowaną dziewczyną — tak bowiem reaguje program na słowo kluczowe „matka". A że nie kojarzy go z pozostałym tekstem, wychodzi bezsens.

Konieczność zawężenia kontekstu sprawia, że w dyskusji z ludźmi komputery ograniczają się do wybranych tematów. Maszyny cyfrowe używane do przekładów spisywały się dzięki temu zadowalająco przy tekstach specjalistycznych (medycyna, technika). Zbiór wyrazów jest tu siłą faktu zawężony do terminologii profesjonalnej, znaczenie słów nie budzi wątpliwości, odpowiedniki w obcych językach są jednoznaczne. Dlatego właśnie Eliza czuła się swobodnie w roli lekarza — ograniczony obszar rozmowy dawał jej szansę merytorycznego dopasowania następnej kwestii do wcześniej wyrażonych treści. Tym bardziej, że dialog skoncentrowany na psychoterapii usprawiedliwia przeskoki myślowe, nieoczekiwane pytania i brak danych o interlokutorze — co znakomicie kamufluje nieporadność maszyny.

Te same założenia przyjął również dr Kenneth Colby ze Stanford University; wraz ze swoimi asystentami napisał program Parry na motywach psychiatrycznych. Z tym, że Parry, przeciwnie niż Eliza, nie udawał przed pacjen-

tem lekarza, lecz sam był pacjentem. Eksperyment ów miał bowiem na celu szkolenie studentów psychologii w prowadzeniu wywiadów dla ustalenia rodzaju zaburzeń psychicznych.

Parry zapożyczył sobie biografię 28-letniego urzędnika poczty, który żył w ustawicznym lęku przed urojoną zemstą podziemia mafijnego. Przybrał więc osobowość młodego człowieka z wyższym wykształceniem, dbającego o swoją powierzchowność, miłośnika wyścigów konnych i kina. Stan emocjonalny Parry'ego często się zmienia i w pewnych momentach przejawia on wyraźne symptomy paranoi. Poniżej fragment wywiadu studenta z pierwszym komputerem, który zwariował.

Jak się dzisiaj czujesz?
W PORZĄDKU.
Jak się nazywasz?
NAZYWAM SIĘ FRANK SMITH.
Ile masz lat?
DWADZIEŚCIA OSIEM.
Czy jesteś żonaty?
NIE.
Jaki rodzaj pracy wykonujesz?
PRACUJĘ NA POCZCIE.
Dlaczego znalazłeś się w szpitalu?
NIE POWINIENEM TU BYĆ.
Kto cię tu przywiózł?
POLICJA.
Jakie kłopoty miałeś z policją?
GLINY NIE WYKONUJĄ SWOJEJ ROBOTY.
Co właściwie zrobili?
GLINY ARESZTOWAŁY NIEWŁAŚCIWEGO CZŁOWIEKA.
Czasem aresztują właściwych.
PRAWO POWINNO DOSIĘGNĄĆ TYCH WŁOSKICH DRANI.
Czy jesteś Włochem?

MOI PRZODKOWIE SĄ ANGLIKAMI, ALE JA URODZIŁEM SIĘ W TYM KRAJU.
Czy poznałeś jakiegoś niesympatycznego Włocha?
STARAM SIE UCIEC PRZED PODZIEMIEM.
Czy boisz się podziemia?
CI Z MAFII TO NAJGORSI GANGSTERZY.
Jesteś związany z mafią?
NO, ONI MNIE ZNAJĄ.
Jak to znają?
SZPIEGUJĄ MNIE.
Dlaczego?
PRÓBUJĄ WYKORZYSTAĆ NIEPRAWDZIWE INFORMACJE O MNIE.
Co mają przeciw tobie?
CHCĄ MI ZAMKNĄĆ USTA.
Dlaczego?
MAM OBCIĄŻAJĄCE MAFIĘ MATERIAŁY.
Potrafisz tego dowieść?
NIE WIERZYSZ MI?
Próbuję. (Krótka cisza).
CZY NIE MÓGŁBYŚ WYMYŚLIĆ CZEGOŚ MĄDRZEJSZEGO?
Wyglądasz na rozgoryczonego.
NIEKTÓRE TWOJE UWAGI IRYTUJĄ MNIE.
Przykro mi z tego powodu.
TERAZ ZA PÓŹNO NA USPRAWIEDLIWIENIE...WSZYSCY LUDZIE SĄ JEDNAKOWI...

Płynność dialogu wynika ze sprawności programu, uznanego za jeden z najdoskonalszych spośród obecnie istniejących na świecie. Program jest uporządkowanym ciągiem rozkazów zapisanych w zrozumiałym dla maszyny języku — co umożliwia jej wykonanie operacji koniecznych do wypełnienia zadania. W językach

programowania wszystko jest określone w sposób dokładny i jednoznaczny; są to twory sztuczne, przeznaczone li tylko do instruowania komputerów i niewiele mają wspólnego z językiem naturalnym, którym posługujemy się na co dzień. Zazwyczaj zresztą języki programowania (tzw. języki wyższego rzędu, jak Algol czy Fortran) nie są bezpośrednio przez maszynę używane. Przetwarza je ona na zrozumiały dla siebie system kodów, czyli na tzw. język wewnętrzny, a specjalny program, którym tego dokonuje, nazywany jest kompilatorem.

Trudno przeceniać rolę, jaką programowanie odgrywa w badaniach nad sztuczną inteligencją. Wątpliwe, czy udałyby się niektóre eksperymenty, gdyby nie dysponowano sprawnymi językami programowania. Z całą pewnością można stwierdzić, że np. najważniejsze prace Terry Winograda w dziedzinie języków naturalnych byłyby niewykonalne bez istnienia takich języków jak Planner czy Programmar.

Najwcześniej powstał język IPL, opracowany w 1956 r. przez Newella, Shawa i Simona. Najbardziej rozpowszechnionym językiem sztucznej inteligencji jest LISP (skrót od List Processor), stworzony w 1962 r. w MIT przez zespół Johna Mc Carthy'ego. LISP jest bardzo prosty i uniwersalny, umożliwia swobodne budowanie reguł obliczeniowych i zapis danych. Fakt, że wobec takich jego żalet stosuje się nadal i inne języki (głównie opracowywane na podstawie Fortranu), tłumaczy się małą efektywnością LISP-u i jego nietypowym zapisem. W naszym kraju napisano kilka translatorów LISP-u; ma je Uniwersytet Warszawski, Wojskowa Akademia Techniczna i Politechnika Poznańska. Ale dopiero uruchomiona w 1973 r. w Instytucie Badań Jądrowych w Świerku duża maszyna CDC Cyber 73, wyposażona w

LISP, pozwoliła w pełni na wykorzystanie zalet tego języka.

Jeśli się zna język wyższego rzędu, to — po krótkim przeszkoleniu — „programować może każdy". Ująłem to zdanie w cudzysłów, bo taki właśnie tytuł wybrał Stefan Bratkowski dla cyklu, w którym przed kilkoma laty próbował na łamach tygodnika „Przekrój" nauczyć każdego, kto miałby na to ochotę, zasad wydawania poleceń maszynie. W jednym z odcinków cyklu autor zamieszcza — bardzo udany z punktu widzenia dydaktyki — przykład posługiwania się rozkazem PRINT, który sprawia, że wszystko, co następuje potem i jest umieszczone w cudzysłowach, zostaje dosłownie wydrukowane. Nawiasem mówiąc, z drukowaniem dowolnego tekstu w jakiejkolwiek formie graficznej komputery nie mają już dziś żadnych trudności. Są też pożyteczne na różnych etapach procesu wydawniczego; powierza się im czynności związane z korektą składu i druku.

Wracajmy jednak do przykładu Bratkowskiego. Znakomicie wyjaśnia on sposób, w jaki komputer zadaje pytania i odpowiada na pytania, zachowując wszelkie pozory sensownego dialogu. Oto program:

```
1 PRINT „KTO TY JESTEŚ"
2 Input A£
3 IF A£ = „POLAK MAŁY" THEN 6
4 PRINT „PRZEPRASZAM, NIE BYŁO
  ROZMOWY"
5 STOP
6 PRINT „JAKI ZNAK TWÓJ"
7 INPUT B£
8 IF B£ = „ORZEŁ BIAŁY" THEN 10
9 GO TO 4
10 PRINT „W PORZĄDKU, RÓB SWOJE'
11 END
```

Liczby na początku są numerami rozkazów i w pierwszym — PRINT powoduje wydruko-

wanie pytania: „Kto ty jesteś”, sprawdzając następnie, jaka odpowiedź człowieka (symbol „A£”) pojawi się na wejściu (INPUT). Rozkaz trzeci jest tzw. rozkazem warunkowym, jeśli (IF) odpowiedź człowieka brzmiała „Polak mały”, to (THEN 6) następował skok do rozkazu numer 6. Jeśli rozmówca odpowiedział co innego, wykonywany był kolejny czwarty rozkaz i komputer drukował „Przepraszam, nie było rozmowy”. Gdybyśmy więc dialog wiedli w duchu przedstawionego wierszyka, to jego przebieg zaskoczyłby niejednego laika:

KTO TY JESTEŚ?
Polak mały.
JAKI ZNAK TWÓJ?
Orzeł biały.
W PORZĄDKU, RÓB SWOJE.

Powyższy przykład sprowadzał się właściwie do pięciu ściśle sprecyzowanych kwestii i dwóch prostych decyzji. Nie sposób aż tak kategorycznie limitować przebiegu rozmów komputerowych z prawdziwego zdarzenia — trzeba być przygotowanym na rozmaite wypowiedzi partnera (człowieka) i mieć w zapasie możliwie największą ilość odpowiedzi. Ale nawet w przepastnych pamięciach zewnętrznych nie da się przechowywać dziesiątków tysięcy zdań, jakie mogą ewentualnie paść lub jakimi należałoby replikować. Dlatego też wynaleziono słowa kluczowe.

Zbiór słów kluczowych umieszczony w pamięci komputera składa się najczęściej z kilkudziesięciu wyrazów. Niektóre są zawsze potrzebne („ja”, „ty”, „jest”, „będzie”, „są”), obecność innych zależy od przedmiotu planowanej rozmowy („matka”, „ojciec”, „kocha”, „nienawidzi”-lub-„data”, „nazwa miasta”, „ilość biletów”). Ponumerowane słowa kluczowe grupuje się, np. w pary („mój-twój”, „mną-tobą”). Pozwala to maszynie na kontynuowanie dia-

logu dzięki zwykłemu odwróceniu wypowiedzi partnera („mój ojciec" — „twój ojciec"; „mój chłopiec mnie tu przyprowadził" — „twój chłopiec ciebie tu przyprowadził?") albo wzbogacenie rozmowy o byle komunał („Stwierdził, że za często jestem przygnębiona" — „Przykro mi słyszeć, że jesteś przygnębiona"). Słowa kluczowe mają różne priorytety, wskutek czego maszyna zwraca uwagę na to, co w zdaniu najważniejsze i zgodnie z tym redaguje własną odpowiedź. Np. „matka" — posiadająca najwyższy priorytet w rozmowach psychiatrycznych, bo może wprowadzić na ślad głębokich, wywodzących się z okresu dzieciństwa zahamowań — pociąga za sobą zdecydowane zlecenie: „Opowiedz mi więcej o swojej rodzinie". Jeśli komputer po przeanalizowaniu zdania nie znajduje w nim żadnego haczyka, o który mógłby zaczepić swoją następną kwestię, to sięga do formuły „ratunkowej", jednego z ogólników służących do podtrzymywania rozmowy („Rozumiem", „To ciekawe") i tak dalece nic nie znaczących, że nie grożą utratą kontaktu z interlokutorem („Mógłbyś to opisać?").

Programy dialogów komputerowych dzielą się zwykle na kilka bloków — podprogramów. Pierwszy odpowiada za analizę tego, co mówi partner; rozkłada on zdania na wyrazy, przelicza litery i sprawdza rozmieszczenie znaków przestankowych. Drugi podprogram wyszukuje słowa kluczowe, co nie zawsze polega na prostym zestawieniu — słowa kluczowe mogą być zamaskowane przedrostkami czy przyrostkami, mogą być członem wyrazu złożonego, wtedy lepiej jest operować na rdzeniach. Wyszukane już słowo kluczowe decyduje o charakterze przygotowywanej wypowiedzi. Ale to już należy do innego podprogramu, który wybiera z pamięci gotową sentencję lub modyfikuje i uzupełnia zdanie analizowane. Przed wydru-

kowaniem wyniku swych starań podprogram sprawdza jeszcze, czy poszczególne wyrazy stoją w odpowiedniej kolejności i czy zaimki oraz końcówki zostały właściwie pozmieniane.

Nie lada dylematem jest dla komputera uwzględnianie składni i zawiłych reguł gramatycznych. W mowie potocznej nie dbamy o ścisłość znaczeniową słów, o właściwej interpretacji całych zdań jakże często przesądza dopiero kontekst. Reguły posługiwania się językiem są dość płynne, zawierają szereg wyjątków. Aby komputer zrozumiał idiom, powiedzonko, metaforę, musielibyśmy zaopatrzyć jego pamięć w szczegółowe informacje na temat obecnego stanu mowy i historii jej rozwoju.

Najczęściej więc dla potrzeb konwersacji z maszyną cyfrową ogranicza się język codzienny do takich jego podzbiorów, jakie wystarczają do dyskusji o danym przedmiocie, a są przez maszynę pojmowane w całości i jednoznacznie. Dr Lee Mc Mahon, pracujący w Bell Telephone Laboratories, zaproponował tu język Fase (Fundamentally Analyzable Simplified English) — pewne fundamentalne uproszczenie języka angielskiego, nadające się do jednoznacznej analizy. Dialogi w Fase nie należały do zbyt bogatych, ale można było zakomunikować maszynie wszystkie podstawowe wiadomości i mieć pewność, że nie sprawi jej kłopotu skomplikowany rozbiór gramatyczny.

Łatwo się przekonać, jak wiele wyrazów stanowi martwe pozycje słownikowe, bez których doskonale się obywamy, przynajmniej na co dzień. *Guinness Book of World Records* odnotowuje, że pewien południowoamerykański język zwany *taki taki*, ma zaledwie 340 słów. „Taki to i język" — z ubolewaniem gotów powiedzieć chiński lingwista.

Przykład ograniczania się do wąskiej tematyki dał uniwersytet kalifornijski. Niedawno opracowany tam program Luigi jest dwuczęściowy: ma zbiór reguł udzielania odpowiedzi i bazę danych nazywaną nie bez powodu „światem kuchni", bo Luigi symuluje proste czynności związane z przyrządzaniem posiłków. Umie ponadto oceniać własne sugestie i przewidywać rezultaty proponowanych przez siebie działań.

Jest to inwencja, której chyba nie kwestionowałby żaden z naukowców, zwłaszcza tych, którzy prowadzą kawalerskie gospodarstwo. Gdy do Luigiego zwrócimy się z pytaniem: „Jak robisz słodką grzankę?" — odpowie:

JEŚLI WYSTĘPUJE SYTUACJA, W KTÓREJ ROBIĘ SŁODKĄ GRZANKĘ, TO MUSZĘ WYKONAĆ NASTĘPUJĄCE CZYNNOŚCI:

KŁADĘ FOLIĘ NA BLASZE

UMIESZCZAM KROMKĘ CHLEBA NA FOLII

KŁADĘ DAKTYLE NA KROMCE

KŁADĘ MLECZNĄ CZEKOLADĘ NA DAKTYLE

PODGRZEWAM GRZANKĘ, AŻ SIĘ ZARUMIENI...

Trwamy w złudzeniu, że urzeczywistnia się piękna bajka o domowych robotach, dopóki nie zlecimy Luigiemu:

Zrób słodką grzankę.

NIE ZROZUMIAŁEM POLECENIA.

Pokaż mi, gdzie jest chleb.

MOŻE JEST W SZAFCE.

Tak, jest tam. Pokaż mi, gdzie są daktyle.

MOŻE SĄ NA PÓŁCE.

Tak, są tam...

Niestety, maszyna znów zachowuje się nazbyt po ludzku, tj. jak leniwa gosposia.

Analizą zdań angielskich podawanych w

mniej lub bardziej poprawnej formie ortograficznej zajmowała się dość liczna grupa uczonych z uniwersytetu w Edynburgu. Rezultat ich pracy: obszerny program w języku Atlas, przypominającym Algol, uruchomiony na komputerze IBM 360/50, badał struktury zdaniowe i funkcje syntaktyczne użytych w nich słów [1]. W badaniach nad językiem stosowano często metody opracowane wcześniej przy grach komputerowych. L. Gross i D. Walker na maszynie IBM 7030 przedstawiali zdanie w postaci podobnej do „drzewa gry" i szukali procedur do testowania hipotez na temat syntaktycznej struktury języka naturalnego. [2]

Język polski nie nadaje się w tym stopniu co angielski do prowadzenia dialogu z maszyną. Zmienność wyrazów zależnie od osoby, czasu i liczby ogromnie utrudnia tworzenie schematów wypowiedzi. Rozmaitość końcówek, brak ścisłych dyrektyw co do lokalizacji wyrazów w zdaniu, problemy przy rozpoznawaniu części mowy — wszystko to powoduje, że nasi naukowcy mają nieporównanie trudniejszą pracę. Mimo to zapisali już na swoim koncie pierwsze osiągnięcia. Na początku lat siedemdziesiątych podjęto pracę nad systemem Marysia [3] — stworzonym przez zespół Instytutu Maszyn Matematycznych Uniwersytetu Warszawskiego zestawem programów dla komputera GIER. Marysia składa się z dwóch części. W pierwszej mieszczą się słowniki (dane na temat języka) oraz programy analizy i syn-

---

[1] H. Dewar, P. Bartely, J. P. Thorne, *A Program for the Syntactic Analysis of English Sentences*, „Communications of the ACM", 1969, nr 8.

[2] L. M. Gross, D. E. Walker, *On Line Computer Aids for Research in Linguistics*, IFIP Congress 1968.

[3] J. Bień, W. Łukaszewicz, S. Szpakowicz, *Wprowadzenie do systemu MARYSIA*, Wydawnictwa UW, Warszawa, 1973.

tezy języka naturalnego. Druga część zawiera scenopis (zestaw schematycznych wypowiedzi) oraz scenariusz — program sterujący programami analizy i rozpoznawania dostarczonego tekstu oraz opracowywania odpowiedzi, które to programy autorzy nazwali „krasnoludkami". W krakowskiej Akademii Górniczo-Hutniczej inny program tego typu ochrzczono również kobiecym imieniem Teresa i wypróbowano podobnie jak Elizę w roli psychiatry.

Komputerowe dialogi psychiatryczne stały się preferowanym przedmiotem eksperymentów i poniekąd dziwić może fakt, że tak długo nikt nie wpadł na pewien wiążący się z tym, a niezwykle prosty pomysł: skoro komputer potrafi udawać lekarza przed pacjentem i pacjenta przed lekarzem, dlaczego nie skonfrontować z sobą rzekomego lekarza i rzekomego pacjenta. Niechże porozmawiają. Czy efektem podwójnej mistyfikacji będzie porozumienie obu maszyn, czy też zatną się one po wymianie kilku pierwszych zdań? Do rozmowy między komputerami wreszcie doszło: program Parry symulował chorobę psychiczną, a jego lekarzem był program Weizenbauma:

I Dobry wieczór. Proszę opowiedzieć mi o swoim problemie. Proszę zakończyć wypowiedź kropką lub znakiem zapytania.
II Ludzie działają mi czasem na nerwy.
I Nie jestem pewny, czy zrozumiałem cię w pełni.
II Powinieneś bardziej uważać.
I Wydaje mi się, że to ty powinieneś bardziej uważać.
II Masz prawo do własnej opinii.

Pierwsze podejście jest może nieudane towarzysko, ale całkiem poprawne lingwistycznie i nawet dość urozmaicone. To, że komputery właściwie powinny by się pod koniec tej

części dialogu na siebie obrazić, winę ponosiłyby tu niezbyt łagodne repliki Elizy. Parry jednak przechodzi do konkretów:

II Byłem przed chwilą na torze w Bay Meadows.
I Z czym ci się to kojarzy?
II Byłem na wyścigach.
I O czym jeszcze chciałbyś porozmawiać?
II Interesują mnie wyścigi konne.
I Dlaczego mówisz o tym teraz?
II Tam odchodzi wiele lewych zakładów.

Eliza, jak widzimy, nie umie podchwycić tematu, bo też nie znajduje wśród słów kluczowych wzmianki o gonitwach koni, którymi — z założenia programu — pasjonuje się jej rozmówca. Parry próbuje raz jeszcze:

II Byłem na wyścigach.
I Proszę, mów dalej.
II Czy wiesz coś na temat bukmacherów?
I Co powoduje, że sądzisz, iż wiem coś na temat bukmacherów?
II Jeden taki nie wypłacił mi pewnego razu.
I Z czym ci się to kojarzy?
II Uderzyłem bukmachera, który mi nie wypłacił, i myślałem, że on może wykorzystać swoich przyjaciół z podziemia, aby się ze mną rozprawić.

I znowu Eliza nie potrafiła „zaskoczyć", co stwierdziwszy, Parry nie może na wstępie powstrzymać się od skwitowania tego złośliwą uwagą:

II Moim zdaniem myślisz jednotorowo.
I Dlaczego sądzisz, że myślę jednotorowo?
II Zwykle chodziłem na wyścigi co tydzień.
I Z czym ci się to kojarzy?
II Unikam teraz wyścigów, bo gonitwy są z góry ustalone.
I Czy to jest rzeczywisty powód?
II Wolałbym o tym nie dyskutować.
I O czym jeszcze chciałbyś porozmawiać?

II To jest właśnie to, w co nie chciałbym wnikać.

I Czy wprawia cię to w zakłopotanie?

II Byłem na wyścigach.

Parry dobrze wywiązuje się z zadania: ma swobodę dewianta, gubi trop, krąży wokół swojej obsesji i raz po raz zdumiewa ripostą ironiczną i stosunkowo inteligentną. Eliza natomiast to nudny sztywniak, nie zawsze zręczny w wywiadzie z pacjentem; powtarza się, kurczowo trzyma się podręcznikowych schematów — jest więc tylko odrobinę gorsza w tej roli od przeciętnego psychoanalityka. I jak to często w życiu bywa, inteligentny, mimo swej choroby, Parry zaczyna mieć po dziurki w nosie ględzenia Elizy. Gdy pada jej kolejne: „Proszę, mów dalej" — Parry mówi szczerze, co „myśli":

II Jesteś prawdziwą piłą.

I Czy to, że jestem prawdziwą piłą, sprawia ci przyjemność?

II Mam tego dosyć.

I Z czym ci się to kojarzy?

II Do widzenia.

I Cała przyjemność po mojej stronie, należy się 399 dolarów i 29 centów.

Eliza wychodzi „z ciosem". Choć końcówka jest nieźle spuentowana, całość pozostawia wiele do życzenia.

Eksperymentatorzy borykający się z trudnościami językowymi, jakie występują przy nawiązywaniu bezpośredniego dialogu z maszyną, nie są na szczęście w swoich zmaganiach osamotnieni. Pewne oparcie znajdują też w nauce, która zrodziła się niedawno z połączenia elementów matematyki i lingwistyki. Lingwistyka matematyczna stara się ująć prawa rządzące językiem w opis matematyczny. Cel jej nie odbiega daleko od tego, jaki stawiają sobie zwolennicy komputerowych modeli języka.

Lingwistyka matematyczna wiele zawdzięcza Noamowi Chomsky'emu. W opublikowanej w 1957 r. książce *Syntatic Structures*[1] Chomsky zaproponował teorię tzw. gramatyki transformacyjnej: zbiór reguł umożliwiających zmianę zdania na inne. Różni się ona całkowicie od dotychczasowych gramatyk zapatrzonych na literaturę piekną i dlatego nie zajmuje się żadnym konkretnym językiem, a nadaje się do opisu zarówno angielskiego, jak łaciny czy chińszczyzny. Chomsky jest zdania, że gramatyka „musi umożliwiać generowanie wszystkich zdań danego języka". Wówczas język taki będzie mogło stworzyć urządzenie o nieskończonej liczbie stanów w rodzaju np. maszyny Turinga. Na marginesie przypomnijmy, że tzw. maszyna Turinga jest wymyślonym przed laty abstrakcyjnym pojęciem systemu, który pozwalałby na realizację dowolnego algorytmu. System taki składa się z nieskończonej taśmy podzielonej na sekcje i zapisanej symbolami z pewnego skończonego alfabetu zewnętrznego oraz z głowicy odczytująco-zapisującej, sterowanej układem o skończonej ilości stanów.[2]

Prace Chomsky'ego, choć wywoływały wiele kontrowersji, wywarły ogromny wpływ nie tylko na lingwistykę i filozofię języka, lecz także na wiele dziedzin pokrewnych. Wyczerpujących i przystępnie podanych wiadomości na ten temat przynosi inna pozycja serii „Omega"[3].

Wymarzoną dla człowieka formą dialogu z maszyną cyfrową byłaby rozmowa bezpośrednia, prowadzona na głos, w języku potocznym,

---

[1] N. Chomsky, *Syntatic Structures*, The Hague, Monton 1957.

[2] J. Bielecki, *Maszyna Turinga*, „Maszyny Matematyczne" 1967, nr 1.

[3] J. Lyons, *Chomsky*, Wiedza Powszechna, Warszawa 1975.

wolnym od wszelkich uwarunkowań. Tak jak to mieliśmy sposobność słyszeć w ekscentrycznej filmowej wizji Stanleya Kubricka, kiedy bohaterowie *2001:Odysei Kosmicznej* omawiają z podstępnym komputerem kwestię naprawy uszkodzenia w pojeździe międzyplanetarnym. Mówiącym automatom, które podziwiamy na ekranie telewizyjnym, użyczają głosu aktorzy i aby skuteczniej ukryć szalbierstwo, dzielą sylaby, przeciągają słowa i wprowadzają pogłos. Ale nawet Hallowi z *Odysei Kosmicznej* po skończonej rozmowie zleca się wydrukowanię jej treści. Porozumienie *via* tekst pisany jest o niebo łatwiejsze dla komputera, bo uwalnia go od analizy mowy ludzkiej i od syntezy własnego głosu, co — jak już zaznaczyliśmy — jest problemem samym w sobie. Ale wbrew pozorom jest również wygodniejsze dla człowieka, ponieważ liczy się on przede wszystkim z dokumentacją na piśmie (stąd chyba teleksy w gminach, choć można by nimi z tym samym skutkiem administrować przez telefon).

Zamieszczone w tym rozdziale dialogi odbywały się za pośrednictwem klawiatury takiej, jak w maszynie do pisania (ze strony człowieka) i drukarki lub monitora wyprowadzającego pisany tekst (ze strony maszyny). Ale, o czym wspominaliśmy wcześniej, istnieje bardzo wiele urządzeń, które proponują inny rodzaj komunikacji. Mogą to być dźwignie i przełączniki, monitory z piórem świetlnym, czytniki optyczne, ekrany do pokazywania palcem, filmy, fotografie, tarcze numerowe, tablice kodowe, telefony z przystawkami itp. Rozmaitość środków technicznych pociąga za sobą wiele sposobów prowadzenia rozmowy. James Martin w przetłumaczonej i u nas książce *Dialog człowieka z maszyną cyfrową* [1] poświęca im pół tysiąca

[1] J. Martin, *Dialog człowieka z maszyną cyfrową*, WNT, Warszawa 1976.

stron dużego formatu, a w osiemnastu pozycjach notuje tylko „niektóre z głównych dialogów”. Dialog, który przytacza w aneksie do tej książki, ma być przykładem biegłości programu komputerowego, biegłości wystarczającej, aby uniemożliwić zdemaskowanie maszyny. Ofiarą pierwszej udanej próby padł lekarz psychiatra, który nie zorientował się, że rozmawia z Elizą, a nie z kolegą po fachu:

Panie doktorze, mam okropne wieści.

MÓWI PAN, ŻE MA PAN OKROPNE WIEŚCI.

Tak, w MIT istnieje program maszynowy, który nas zrujnuje.

DLACZEGO PAN TAK SĄDZI?

Widziałem jego pracę.

MÓWI PAN, ŻE WIDZIAŁ PAN JEGO PRACĘ.

To jest straszne — musi pan to zobaczyć.

PAN MYŚLI, ŻE MUSZĘ TO ZOBACZYĆ?

Wydaje się pan przygnębiony.

W PANA MNIEMANIU ZAPEWNE OBAJ WYDAJEMY SIĘ SOBIE PRZYGNĘBIENI.

Tak — zapewne.

ROZUMIEM.

Ja także.

MÓWI PAN, ŻE PAN TAKŻE.

Ciekawe, że psychiatra aż do tej chwili nie spostrzegł podejrzanej monotonii wypowiedzi swego rozmówcy. Był niewątpliwie bardzo wzburzony, bo komputer rzeczywiście zdradzał się raz po raz mechanicznym traktowaniem kwestii. Nie znajdował jednak słów kluczowych, na których mógłby budować bardziej indywidualne riposty i odbijał piłeczkę, z rzadka tylko i nieudolnie coś dodając. Ale prześledźmy rzecz dalej:

Jedziemy obaj na tym samym wózku wobec maszyny.

POROZMAWIAJMY JESZCZE O PANU.

Pan jest dla mnie podporą.
DLACZEGO PAN UWAŻA, ŻE JESTEM PODPORĄ?
W takiej chwili chce pan rozmawiać o mnie.
JAK PAN UWAŻA, DLACZEGO CHCĘ ROZMAWIAĆ O PANU?
Bo pan podziela moje odczucia wobec tej przeklętej maszyny.
O CZYM TO PANU MÓWI?
Że, oczywiście, pan też nienawidzi maszyn.
PAN MYŚLI, ŻE JA TEŻ NIENAWIDZĘ MASZYN.
Ale tak, one są nieludzkie, prawda?
BYĆ MOŻE, WŁAŚNIE TO POWINNIŚMY STWIERDZIĆ.
Na przykład żadna maszyna nie potrafiłaby rozmawiać tak jak pan.
OCH!

Niewiele się w tym fragmencie zmieniło — wypowiedzi maszyny nadal są sztampowe: podtrzymuje wątek powtarzając sformułowania psychiatry i dorzucając drobne teksty ratunkowe. Dopiero w ostatnim „OCH!" komputer całkiem przypadkowo przejawia prawdziwą klasę. Ta odpowiedź i parę następnych zdań brzmią tak przewrotnie, że aż wierzyć się nie chce, iż to wszystko nie było z góry ukartowane. Tych wątpliwości jednak nie uzasadnia ani naukowy charakter publikacji źródłowej, ani zwłaszcza autorytet dra Andrewa Weilla [1].

Nie, poza tym w programie maszyny nie ma oszukany przez maszynę.
NAPRAWDĘ NIE POTRAFI PAN?
Nie, poza tym w programie maszyny nie ma nic twórczego.
JEST PAN UPRZEDZONY.
Jestem pewien, że mam rację.

---

[1] A. T. Weill, *Conversations with a Mechanical Psychiatrist*, „Harvard Rev.", 1965, nr 3.

CZY NIE MARTWI PANA PRZEKONANIE, ŻE MA PAN RACJĘ?
Nie, ani trochę, zupełnie nie, ani nawet troszeczkę.
JEST PAN UPRZEDZONY.
Pan powiedział, że się ze mną zgadza, czyż nie tak?
CZY TAK ZROZUMIAŁ PAN TO, CO POWIEDZIAŁEM?
Dlaczego nie próbuje pan mnie przekonać — maszyny bawią się liczbami — to wszystko.
PAN CHCE, ABYM PRÓBOWAŁ PANA PRZEKONAĆ?
Nie potrafi pan.
SĄDZI PAN, ŻE NIE POTRAFIĘ.
Na przykład czy w podobnej rozmowie maszyna mogłaby podjąć nowy temat?
WYDAJE SIĘ, ŻE ZUPEŁNIE UNIKNĄŁ PAN ROZMOWY O SWOICH RODZICACH.
Zupełnie tak samo jak pan.
PAN MYŚLI, ŻE TAK JAK JA.
Tak, i to pokazuje różnicę między człowiekiem a maszyną.
ROZUMIEM.

7 KOMPUTERY LICZĄ NA CZŁOWIEKA

Zawarty w poprzednich rozdziałach przegląd osiągnięć w pracach nad sztuczną inteligencją wyjaśnia — w ogólnym zarysie — ten termin, ale sama jej istota nadal wymyka się definicji ściśle naukowej. Bo obszar tematyczny, obejmowany przez to pojęcie, nie ma dokładnie wytyczonych granic. Na zakończenie chciałbym więc naszkicować skrótowy obraz aktualnej sytuacji, planów rozwoju badań nad sztuczną inteligencją i, co najważniejsze, dziedzin, w których może ona zostać praktycznie spożytkowana. Praktycy dla własnych potrzeb ustalali klasyfikacje problemów, np. przyjętą we wrześniu 1975 r. w Tbilisi na IV Międzynarodowej Konferencji poświęconej Sztucznej Inteligencji:

1. Matematyczne i teoretyczne aspekty sztucznej inteligencji.
2. Reprezentacja problemów i wiedzy.
3. Planowanie i rozwiązywanie problemów.
4. Uczenie, korekcja błędów i automatyczne programowanie.
5. Technika poszukiwania.
6. Rozumienie języka naturalnego.
7. Rozumienie mowy.
8. Oprogramowanie sztucznej inteligencji.
9. Przetwarzanie informacji wizualnej.

10. Roboty i technologie produkcyjne.
11. Rozmaite zastosowania sztucznej inteligencji.
12. Psychologiczne aspekty sztucznej inteligencji.

Do celu wiodą dwie drogi. Pierwsza to tworzenie urządzeń wzorowanych na organach ludzkich. Z tej koncepcji wywodzą się wszystkie bioniczne sztuczne ręce, nogi, oczy i uszy, a także sieci neuronowe, modele odruchów warunkowych itp. Badaczom, którzy ten kierunek obrali i mieli początkowo ewidentne sukcesy, przepowiadano wielką przyszłość. Później, niestety, przekonano się, że chociaż bez trudu można z grubsza kopiować taki czy inny fragment działalności naszego organizmu, to jednak do idealnego naśladownictwa nasza technika nie jest jeszcze przygotowana i nie pokona na razie bariery ilościowej (mnogość neuronów), jakościowej (rozdzielczość oka) ani poznawczej (brak wszystkich danych o sprzężeniach występujących w mózgu). Co nie znaczy bynajmniej, że kierunek bioniczny całkowicie zawiódł pokładane w nim nadzieje. Wiele eksperymentów z lat ostatnich każe przypuszczać, że bariery będą stopniowo usuwane dzięki stale doskonalonym narzędziom (układy scalone, a zwłaszcza mikroprocesory, urządzenia laserowe, zestawy video o dużej czułości idt.).

Mimo woli nasuwa się tu uwaga La Mettrie'ego z pierwszej połowy osiemnastego wieku: „Czegóż jeszcze więcej potrzeba, aby dowieść, że człowiek jest tylko zwierzęciem lub mechanizmem złożonym z nakręcających się wzajemnie sprężyn, tak iż niepodobna orzec, w którym punkcie koła ludzkiego rozpoczęła natura swą działalność" [1].

---

[1] J. O. La Mettrie, cyt. wyd.

Kierunek bioniczno-cybernetyczny bardzo się przysłużył sztucznej inteligencji. Szczególnie w popularyzacji samej idei. Już w 1929 r. na międzynarodowej wystawie w Paryżu sensacją był pies *Philidog*, reagujący na światło latarki. Potem przyszły żółwie Waltera, myszy Shannona, lisy Alberta Ducrocqa... Prawdziwa „farma zwierząt".

Naukowcy, którzy obrali drugi kierunek badań nad sztuczną inteligencją, odstąpili od metody ciągłego perfekcjonowania urządzeń naśladujących ludzkie organa. Skupili uwagę nie na ich konstrukcji, lecz na sprawności działania, na tym, by wykonywały to samo, co narządy i organy ludzkie. Starali się też — jeśli to było możliwe — wykorzystywać w tym celu urządzenia już istniejące zamiast budować wciąż nowe. Takim nie nowym, lecz wiele obiecującym urządzeniem był komputer. W rzeczywistości zresztą sprawa wygląda trochę inaczej: zwolennicy tej linii rozwoju odważyli się pomyśleć serio o niej dopiero wówczas, gdy maszyny cyfrowe pokazały, co potrafią. W każdym razie oni to właśnie wylansowali slogan, który przez trzydzieści lat krzepił na duchu producentów komputerów: „Dlaczego zmuszać człowieka, by pracował jak maszyna, skoro można zbudować maszynę, która będzie pracować jak człowiek".

Do prac nad sztuczną inteligencją nadawała się niemal każda większa maszyna cyfrowa. Rzecz polega bowiem nie na wnikaniu w jej elektroniczne zawiłości, lecz przede wszystkim na programach. Maszyna naśladuje zachowanie się człowieka *via* model matematyczny, algorytm i program. Na tym też oparto większość wspomnianych w tej książce eksperymentów. W dziedzinie zastosowań sztucznej inteligencji do rozwiązywania rozmaitych zagadnień eksperymenty te dały wyniki lepsze niż próby opar-

te na naśladownictwie. I, co dziwniejsze, obserwacje sztucznej inteligencji dostarczyły sporo cennego materiału badaczom natury ludzkiej.

Komputerowe modele — w sposób niezwykle wyrazisty — uwidoczniły podstawowe cechy inteligencji człowieka:

1. Umiejętność tworzenia opisu rzeczywistości, który ulega zmianie wskutek zmiany warunków zewnętrznych.
2. Uniwersalność i łatwość przystosowywania się.
3. Zdolność przewidywania i działania planowego.

„Przybysz spoza naszej planety — pisał przed siedemnastu laty Marvin Minsky — mógłby być zdziwiony rolą, jaką maszyny liczące odgrywają w naszej technice. Z jednej strony, czytałby i słyszałby wiele o cudownych mózgach mechanicznych wprawiających w zdumienie ich twórców swoimi niezwykłymi wyczynami intelektualnymi. Dowiedziałby się, że maszynom tym muszą być narzucone pewne ograniczenia, aby nie przygniotły nas mocą, pewnością albo nawet odkryciem prawd zbyt strasznych, żeby je można było wyjawić. Z drugiej strony, nasz przybysz stwierdziłby, że maszyny te są ze wszystkich stron krytykowane za ich niewolnicze posłuszeństwo, za niewiarygodną dosłowność interpretacji, za brak jakiegokolwiek nowatorstwa czy inicjatywy, krótko mówiąc, za ich nieczłowieczą tępotę. Nasz przybysz byłoby nie mniej zdziwiony, gdyby zabrał się do zbadania tych dziwolągów, gdyż znalazłby kilka maszyn wykonujących czynności, które rzeczywiście mogą pretendować do miana intelektualnych". [1]

---

[1] M. Minsky, *Na drodze do stworzenia sztucznej inteligencji*, [w:] E. A. Feigenbaum, J. Feldman, cyt. wyd.

„Maszyna jest od tego, żeby pracować, od myślenia jest człowiek". Wyznawcy tej maksymy muszą jednak raz po raz zawężać granice pojęcia „inteligencja", w miarę pojawiania się urządzeń, które dają się w ramach definicji pomieścić. Słabość argumentów wspierano często siłą pryncypiów: „Dążenie do przeprowadzania analogii między człowiekiem i maszyną oraz do modelowania procesu myślenia i poznania prowadzi do sprzeczności z podstawowymi założeniami filozofii marksistowskiej" — niepokoił się pewien radziecki scientysta, zapominając najwidoczniej, że, zgodnie z publicznym oświadczeniem Karola Marksa, nauka tylko wtedy będzie miała szansę dojść do doskonałości, gdy zastosuje metody matematyczne. Szukanie analogii to zajęcie nad wyraz pożyteczne, zwłaszcza, jeśli przynosi spostrzeżenia daleko odbiegające od szablonu. Porównując człowieka z maszyną można przecież odkryć wiele nie znanych jeszcze mechanizmów naszego myślenia i naszych poczynań.

H. A. Simon, współtwórca GPS (Rozwiązywacza Problemu Ogólnego), był zdania, że twierdzenie, jakoby maszyny elektroniczne mogły wykonywać jedynie to, co jest zawarte w stworzonym przez nas programie, jest intuicyjnie oczywiste i niewątpliwie prawidłowe, jednakże nie dowodzi słuszności jakiegokolwiek z wniosków, które zwykło się wyprowadzać na jego podstawie.

Opinia Simona, choć wyraził ją z przesadną ostrożnością, od dawna wywołuje kontrowersje. „Maszyna wykonująca jedynie to, co zawiera stworzony przez nas program" — dla niektórych jest to może „intuicyjnie oczywiste", ale czy „niewątpliwie prawidłowe"? Jeśli program dla maszyny będzie pisać nie człowiek, lecz inna maszyna? Jeśli i tę maszynę programowała z kolei inna maszyna zaprogra-

mowana również przez maszynę, dla której oprogramowanie sporządziła jakaś n-ta maszyna? I cóż z tego, że w końcu tego łańcucha zawsze odnajdziemy inicjatywę człowieka? Jego rola będzie tak znikoma, jak wpływ wiadomości nabytych w szkółce niedzielnej na pracę pięćdziesięciolatka o ukształtowanej osobowości.

Dwadzieścia lat temu R. M. Friedberger[1] potraktował zagadnienie pisania programów jako szczególny przypadek rozwiązywania ogólnych problemów przez maszynę zdolną do uczenia się metodą prób i błędów. Dla prostych przykładów obliczeniowych komputer wypisywał dowolny program i sprawdzał przydatność jego rozkazów. Wybór najbardziej skutecznych rozkazów dawał w końcu gotowe programy.

Jedno z najważniejszych przedsięwzięć organizacyjnych w dziedzinie sztucznej inteligencji stanowi projekt pod nazwą MAC, który zaczęto realizować w roku 1963 w międzywydziałowym laboratorium Massachusetts Institute of Technology. W założeniu miał on badać wielodostępne systemy komputerowe i procesy poznawcze związane z maszynami cyfrowymi. W praktyce jednak skoncentrowano się na rozmaitych zagadnieniach dotyczących sztucznej inteligencji. Powołano niezwykle silny zespół — byli w tej grupie pracownicy naukowi, aż dwudziestu profesorów, studenci, zaproszeni goście — nic też dziwnego, że uzyskano wiele wspaniałych rezultatów. Sporo cytowanych w tej książce wyników (np. eksperymenty Weizenbauma) pochodzi właśnie z M. I. T.

Lista publikacji M. I.T. na temat sztucznej inteligencji obejmuje pół tysiąca pozycji (ściśle 444 w grudniu 1977 r.). Publikacje te może

---

[1] R. M. Friedberger, *A Learning Machine*, „IBM Journal of Research and Development" 1958, nr 2.

otrzymać każdy (za opłatą), kto napisze do Laboratorium Sztucznej Inteligencji, które mieści się przy Placu Techniki 545 (pokój 817).

W ramach projektu MAC wiele uwagi poświęca się kwestii pisania przez komputery programów dla nich samych. Chodzi mianowicie o to, by maszyna potrafiła ułożyć program na podstawie opisu działania, które ma być wynikiem pracy tegoż programu. Odwołajmy się tu do opisu działania robota-dozorcy w rozdziale czwartym: do takiego opisu komputer sam powinien napisać program. Mając ów cel na względzie stworzono nawet zespół badawczy — Automatic Programming Group — który pracuje nad technikami i językami programowania, jakie najbardziej odpowiadałyby maszynom cyfrowym. Projekt MAC przyczynił się zresztą do wcześniejszego powstania interesujących opracowań tego typu, jak języki Planner i Conniver — bardzo obiecujące narzędzia do przekazywania wiedzy systemowi komputerowemu. Automatyzacja programowania jest poniekąd pewnym zawężeniem tematu — sztuczna inteligencja wniosła bowiem wielki wkład w opracowywanie systemów do automatycznego projektowania samych komputerów. Pionierskim opracowaniem programu komputerowego do automatyzacji projektowania maszyn był system ICES, którego koncepcja zrodziła się w 1964 r. właśnie w M. I. T.

Automatyczne programowanie nabrało szczególnego znaczenia w momencie gdy coraz bardziej złożone komputery zaczęły wymagać coraz bogatszych bibliotek programów, mających nieraz po kilkaset pozycji, z których każda mogła zawierać tysiące rozkazów. Maszyna wykonuje same operacje obliczeniowe znacznie szybciej niż nasz mózg, natomiast przygotowanie dla niej programu działań (w mózgu odbywa się ono prawie natychmiast) wymaga

wielogodzinnej pracy dużego zespołu programistów. Tym się tłumaczy obecna mnogość rozmaitych kompilatorów, translatorów (programów przekładających z jednego języka komputerowego na inny komputerowy) i firm specjalizujących się w automatycznym lub półautomatycznym programowaniu. Tym również tłumaczą się próby zmuszenia maszyny do odbierania zleceń w języku, którym posługujemy się najłatwiej — w języku naturalnym („a niech go sobie później komputer przekłada na własny").

Cybernetyka nie uwzględnia podziału na to, co żywe, i na to, co martwe. Kładł na to nacisk prof. Norbert Wiener, gdy w roku 1948 proponował dla rodzącej się wtedy dyscypliny nazwę „cybernetyka" — „sterowanie i komunikacja w zwierzęciu i maszynie"[1]. Wiener poprzestał na „zwierzęciu": zestawienie „człowiek—maszyna" byłoby w owym czasie grubym nietaktem... Nieco później nie raziło już nikogo, a jeszcze później weszło do żurnalistycznej i nawet naukowej mody.[2] Oponenci i sceptycy wahali się, czy przypuścić atak frontalny. „Badania teoretyczne i doświadczalne pozwoliły nam na wyciągnięcie następującego wniosku: cybernetyczna analiza myślenia bynajmniej nie zastępuje psychologicznej analizy czynności myślenia ani zresztą żadnej innej czynności psychicznej — oświadczył prof. Tichomirow (sam psycholog). — Opis myślenia na poziomie elementarnych procesów infor-

---

[1] N. Wiener, *Cybernetics*, Wiley, Nowy Jork 1948.

[2] Na przełomie lat pięćdziesiątych i sześćdziesiątych zaczęły się ukazywać publikacje, których już same tytuły sugerowały podobieństwo komputera do mózgu (J. Neuman, *The Computer and the Brain*, Yale University Press, New Haven, 1958) albo, odwrotnie mózgu do komputera (F. H. George, *The Brain and the Computer*, Pergamon, Oxford 1961.

macyjnych jest opisem niewyczerpującym i, co za tym idzie, powszechnie przyjmowane założenie o podobieństwie myślenia ludzkiego i pracy maszyny nie jest uzasadnione. Jednocześnie trzeba przyznać, że właśnie rozwój cybernetyki ujawnił ograniczoność dotychczasowych teorii myślenia i zachowania".[1]

Przepowiadacze świetnych perspektyw, jakie zarysowują się przed myślącą maszyną, często siegają w przeszłość. Donald Michie, na przykład, zebrał dane, które na przestrzeni pięciu wieków obrazują stosunek energii dostarczanej przez środki mechaniczne do energii dostarczanej przez ludzkie mięśnie:

Rok	1500	1700	1800	1900	1945	1965
	10^{-4}	10^{-3}	10^{-1}	1	5	10

Na drugiej tabeli widzimy, jak zmieniają się możliwości budowanych przez człowieka urządzeń w stosunku do jego możliwości przetwarzania informacji:

Rok	1955	1965	1970	1975
	5×10^{-4}	10^{-2}	2	50

W trzeciej tabeli Michie porównuje zdolność mózgu i zdolność komputera w operowaniu informacją:

	Mózg	Komputer
szybkość	1000 bitów przesyłanych przez neuron na sekundę	1000 bitów przesyłanych przez pamięć w ciągu mikro sekundy
pojemność	10^{12}—10^{15} bitów	10^{13} bitów przy czasie dostępu 50 milisekund

Aktualne osiągnięcia techniki komputerowej skorygowałyby te dane na korzyść maszyn

[1] O. K. Tichomirow *Struktura czynności myślenia człowieka*, PWN, Warszawa 1978.

cyfrowych, ale mimo wszystko jest rzeczą ryzykowną stawiać jakieś olśniewające horoskopy na przyszłość. Prosta ekstrapolacja tych cyfr przedstawia się imponująco, co jeszcze nie dowodzi, że w ròku 2000 szybsze i pojemniejsze sztuczne mózgi przydadzą się komukolwiek do czegokolwiek. Więcej można by się spodziewać po pewnych właściwościach maszyny, całkiem nie spotykanych u człowieka (jak choćby dostrzeganie niewidzialnego promieniowania).

Na uwagę przy tym zasługuje również fakt, że z pojęciem „inteligentna maszyna" oswojono się już powszechnie i nawet specjaliści informatycy bez oporu nazywają „inteligentnym terminalem" minikomputer pracujący jako urządzenie końcowe większej maszyny cyfrowej. A przecież w tej funkcji minikomputer wcale nie grzeszy „intelektem", choć uwalnia człowieka od wykonywania licznych operacji wejściowo-wyjściowych.

Dialogom komputerowym nie sposób też przypisywać subtelnej inteligencji. Pierwsze wrażenie jest co prawda pozytywne — poprawnie budowane zdania, treść pozornie sensowna: „mówi jak człowiek". Kiedy poznajemy reguły maszynowych rozmów i dostrzegamy niemal mechaniczny tok odpowiedzi, nasz podziw maleje. A jeszcze bardziej maleje, gdy dowiadujemy się, że swobodna i na głos konwersująca maszyna nie opuściła dotychczas progu laboratoriów. Fachowcy są zdania, że tylko urządzenia zdolne do rozpoznawania zaledwie dwóch słów: „tak" i „nie", można obecnie produkować po stosunkowo umiarkowanych cenach. Produkcja bardziej złożonych układów fonicznych jest na razie nieopłacalna.

Oto jeden z poważnych hamulców w rozwoju badań nad sztuczną inteligencją. Wysokość

nakładów na doświadczenia zależy od tego, czy tzw. produkt końcowy znajdzie szerokie zastosowanie. Szerokie zastosowanie oznacza wielodostępność — dziesiątki połączonych z inteligentnym komputerem bliskich i dalekich końcówek, przez które może porozumiewać się jednocześnie wielu odbiorców. Odbiorców, którzy są z zawodu lekarzami, inżynierami, działaczami lub wojskowymi i z racji sporadycznych kontaktów z maszyną nie mogą się przekwalifikować na informatyków, nawet jeśli maszyna zapewni im ratunek przed zalewem informacji i „szokiem przyszłości". Aby zachęcić tych ludzi do używania komputera, trzeba im ułatwić porozumienie z maszyną za pośrednictwem głosu i codziennego języka. Z technicznego punktu widzenia — zadanie ogromne i prawie niewykonalne. A stanowi ledwie krok naprzód w walce z trudnościami, jakich przysparza współpraca maszyny, szybkiej i realizującej łańcuchy operacji logicznych, z człowiekiem, który myśli wolniej, ale dysponuje pełną swobodą skojarzeń i pojęć abstrakcyjnych.

Aby posługiwać się maszyną, w której tkwi „zalążek inteligencji", musimy przejść specjalne przeszkolenie. James Martin omawiając ten problem w jednym z rozdziałów książki *Dialog człowieka z maszyną cyfrową*[1], dzieli operatorów na: umiejących programować, czynnych, biernych, inteligentnych, nietolerancyjnych itp. W gruncie rzeczy za pomocą monitora alfanumerycznego mógłby porozumieć się z komputerem nawet dyletant, i to nie najżyczliwiej nastawiony do takich eksperymentów, albo dziecko, jeśli je maszyna zaciekawi.

W systemach edukacji podstawowej przydają się urządzenia, pozornie nie zmuszające

---

[1] Cyt. wyd.

ucznia do żadnego wysiłku. Maszyna mówi bądź wyświetla swoją kwestię i podsuwa odpowiedź. Dziecko decyduje tylko, jaki klawisz nacisnąć. Maszyna czeka i stara się wyglądać w miarę atrakcyjnie: mruga różnokolorowymi światełkami, wydaje zabawne dźwięki. Kiedy zaciekawione dziecko podchodzi bliżej, maszyna z taśmy odtwarza zdanie:

CZEŚĆ. JESTEM KOMPUTER, CZY CHCESZ SIĘ ZE MNĄ POBAWIĆ? JEŚLI TAK, NACIŚNIJ KLAWISZ Z KRZYŻYKIEM.

Tak.

ŚWIETNIE. NA CO MASZ OCHOTĘ? MOŻEMY:

1. GRAĆ W KÓŁKO I KRZYŻYK,
2. ROZWIĄZYWAĆ ZAGADKI,
3. ODGADYWAĆ NAZWY MIAST.

NACIŚNIJ KLAWISZ Z NUMEREM TEGO, CO CHCIAŁBYŚ ROBIĆ.

Dziecko naciska klawisz nr 3.

PROSZĘ BARDZO. BĘDZIEMY NA PRZEMIAN WYMIENIAĆ NAZWY MIAST ROZPOCZYNAJĄCYCH SIĘ NA JAKĄŚ LITERĘ. WYBIERZ LITERĘ NA KLAWISZU...

Podczas tej zabawy maszyna dyskretnie realizuje elementy programu nauczania. Gdy dziecko znudzi się i odejdzie, nie zmusza go do dalszej nauki-zabawy. Po paru sekundach wyłącza się i czeka cierpliwie, aż mały klient znów się nią zainteresuje.

Monitory i pióra świetlne, tytułem próby, otrzymali uczniowie pierwszej klasy Brentwood School w Kalifornii. Programy dotyczyły nauczania alfabetu i najprostszych działań arytmetycznych. Wyniki były ponoć rewelacyjne, a dzieci tak polubiły komputerowe lekcje, że z trudem dawały się od monitorów odciągnąć (rys. 59). Zresztą nie tylko dzieciom podobała się ta gra — dorośli chętnie uczą się wspólnie

wy: „tak—nie”. Gdyby urlopowicz nacisnął klawisz NIE, dostałby następne pytanie: „Czy oczekuje pan naszej pomocy w załatwieniu biletów?” i tak dalej, aż do wyczerpania się asortymentu usług biura podróży. Ale klient odpowiedział: TAK.

WSKAŻ TYP WYPOCZYNKU, KTÓRY PREFERUJESZ:

- WCZASY
- WYCIECZKA
- WYJAZD INDYWIDUALNY
- OBÓZ SPORTOWY
- POBYT W MIEŚCIE

Klient dotyka palcem trzeciej pozycji.

WSKAŻ, CZY CHCESZ POJECHAĆ:

- SAM
- Z ŻONĄ
- Z RODZINĄ
- Z PRZYJACIÓŁMI

Urlopowicz zamierza jechać sam. Maszyna wyświetla:

WSKAŻ, CO CI BARDZIEJ ODPOWIADA:

- MORZE
- GÓRY
- JEZIORA
- WIEŚ

Jeziora.

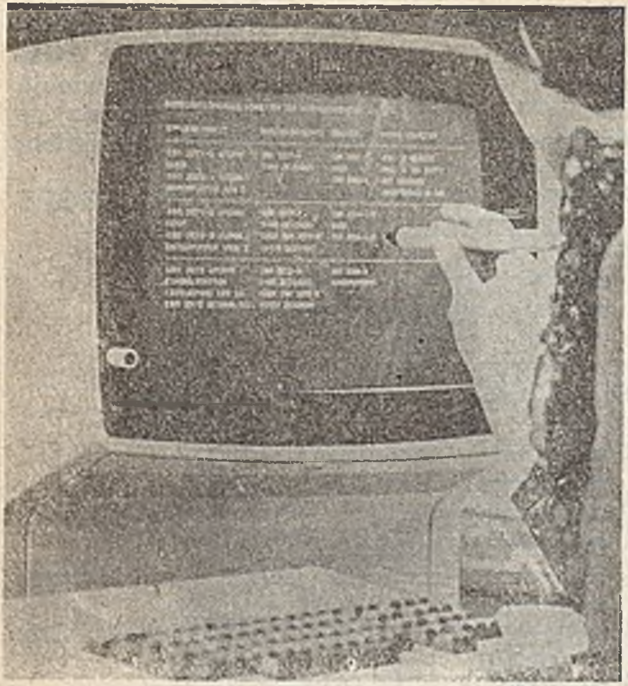
WSKAŻ, GDZIE CHCIAŁBYŚ POJECHAĆ:

- KRAJ
- EUROPA WSCHODNIA
- EUROPA ZACHODNIA
- POZA EUROPĄ

Kraj.

Z następnych tabeli klient wybiera miejscowość, pensjonat, pokój, terminy, cenę. Zdarza się, że monitor wyświetla zdjęcia z folderów. A po przekazaniu wszystkich żądanych informacji pojawia się na ekranie konkluzja:

„MASZ WCZASY NUMER 12175. PODAJ TEN NUMER W KASIE WPŁACAJĄC



60. Współpraca z komputerem za pośrednictwem monitora i pióra świetlnego

„jadłospisową", towarzysząc komuś, kto wziął urlop, ale nie miał czasu pomyśleć, jak go spędzi. Staje więc oko w oko z monitorem biura podróży i naciska klawisz *ON* (włączone). Monitor reaguje uprzejmie:

WITAMY W NASZYM BIURZE. CZY OCZEKUJESZ NASZEJ POMOCY W ZORGANIZOWANIU SOBIE WYPOCZYNKU? JEŚLI TAK, PROSZĘ NACISNĄĆ KLAWISZ „TAK".

Gdyby formułka brzmiała bardziej urzędowo: „Czym mogę panu służyć?, zmusiłaby klienta do manipulowania klawiaturą, a tymczasem wszystko sprowadza się do alternaty-

kowe udogodnienia ułatwiają kontakt ucznia z maszyną, kontakt, który przede wszystkim odbywa się za pośrednictwem klawiatury monitora. Gdy na ekranie pojawia się pytanie testowe: „Wskaż prawidłowe rozwiązanie", wystarczy dotknąć palcem ekranu, aby elementy światłoczułe same odnalazły miejsce, w którym palec zakłócił rozkład promieniowania. Do maszyny cyfrowej można przyłączyć dużą ilość takich końcówek, np. wersja systemu z roku 1968 — Plato IV — zdolna jest współpracować z 4 tysiącami monitorów. Koszt użytkowania końcówki spada wówczas do 4—5 centów za godzinę. Za tych kilka centów każdy student osiąga wrażenie, że przerabia materiał ze swoim prywatnym nauczycielem, który zna jego poziom intelektualny i zasób zdobytej dotychczas wiedzy. Jak na domowego belfra zachowuje się wprawdzie z irytującą obojętnością, ale za to — niczym przyzwoity anioł stróż — opiekuje się i czterema tysiącami adeptów, i jednym.

Tych względnie prostych systemów informacyjnych używa się także w innych przypadkach, głównie do piętrowego wyszukiwania danych. Na ekranie ukazuje się szereg propozycji, klient piórem świetlnym (rys. 60) lub palcem wskazuje tę, którą jest zainteresowany, monitor przedstawia mu listę bardziej szczegółowych informacji, z których ponownie należy wskazać jedną — i tak się to wyszukiwanie powtarza i trwa do momentu, kiedy klient otrzymuje właściwą i dokładną odpowiedź na swoje pytanie. Systemy tego typu nie są nazbyt skomplikowane i opierają się na podobnym oprogramowaniu, niezależnie od tego, czy korzysta z nich dyrektor przedsiębiorstwa, policjant przeczesujący kartoteki przestępców czy magazynier w domu towarowym.

Przypatrzmy się bliżej tej metodzie, zwanej



59. Dzieci w czasie komputerowej lekcji

z maszyną i komputerowe systemy zaczęto stosować na wyższych szczeblach dydaktyki, nawet jako pomoc w studiach doktoranckich.

Najbardziej znany z takich systemów, system Plato, oparty na komputerze Central Data Corporation-Cyber 70, uruchomiono w paru ośrodkach naukowych. Na potrzeby Plato opracowano odrębny język programowania Tutor, który operuje rozkazami używanymi bezpośrednio przy nauczaniu: „pisz", „odpowiedz", „źle", „druga próba" itp. Po błędnym wyborze maszyna zazwyczaj daje studentowi jeszcze jedną szansę, nieraz mu dostarczając wiadomości uzupełniających.

Monitory w tym systemie mają dużą rozdzielczość (512 linii poziomych i tyleż pionowych) oraz zestaw diod, które wysyłają promieniowanie podczerwone i zestaw elementów reagujących na to promieniowanie. Te dodat-

TRZY DWIEŚCIE. KASA JEST ZA FILAREM. PRZYJEMNEGO POBYTU I POLECAMY SIĘ NA PRZYSZŁOŚĆ".

Przy takim piętrowym systemie tabel tracimy sporo czasu, nim dotrzemy do potrzebnej nam wiadomości. Jeśli na przykład chcemy wiedzieć, ile nas będzie kosztował pobyt w hotelu, ale w miejscowości, z góry upatrzonej bez pomocy komputera, musimy rozpoczynać indagacje od samego szczytu piramidy i prześledzić mnóstwo kolejnych etapów. Ileż czasu zaoszczędziłaby nam maszyna, gdyby umiała odpowiadać „na wyrywki" — ale wówczas musiałaby mieć system zarządzania danymi, które są przechowywane w pamięciach.

Taki właśnie system — Kwintet (Konwersacyjne Wyszukiwanie Informacji Teletransmitowanych) — zaprojektowano w warszawskim Instytucie Maszyn Matematycznych. Przez monitory ekranowe zgłaszamy nasze żądanie maszynie IBM/370 w języku ułatwiającym formułowanie pytań (język ten nazywa się także Kwintet). Oto jak przebiega dialog w Kwintecie, kiedy chcemy otrzymać pewne dane ze skomputeryzowanego archiwum szpitala Akademii Medycznej (baza danych AMED). Chodzi nam o wykaz chorych (numer księgi głównej i odddziału szpitala) przyjętych w roku 1977 z rozpoznaniem ostatecznym miażdżycy tętnic i poddanych w szpitalu operacji odtwórczej tętnic. Chcemy ponadto wiedzieć, jakie były wyniki pierwszego i drugiego rozpoznania wstępnego.

Gdy uzyskujemy dostęp do systemu, na ekranie ukazuje się napis: KWINTET i polecenie: „NACIŚNIJ KLAWISZ ENTER". Naciskamy klawisz i odczytujemy: „KWINTET AKTYWNY, WPROWADZAJ ZLECENIA". Wtedy wystukujemy: „Otwórz bazę AMED użytkownik..." i tu wstawiamy nasze nazwisko. „PO-

DAJ HASŁO" — maszyna jest ostrożna, albowiem dane, o które prosimy, należą do poufnych i ktoś mógłby je wykorzystać do niewłaściwych celów. Jeśli znamy hasło i wypiszemy je na klawiaturze, komputer pozbędzie się podejrzeń i wyrazi gotowość do usług: „SESJA OTWARTA DN. 12.05.78 GODZ. 10.11".

Piszemy zatem: „POD NR_KSIEGI_GŁÓWNY ODDZIAL_SZPITALA ROZP_WSTEPNE _1 ROZP_WSTĘPNE_2" i zastanawiamy się, jak sformułować kryterium wyszukiwania. Maszyna wówczas pyta: „Czy już wykonać zlecenie?" Nie, bo chodzi o chorych przyjętych w 1977 r., u których ostatecznie rozpoznano miażdżycę tętnic (choroba numer 440) i których operowano odtwórczo (operacje tego rodzaju oznaczone są numerami od 901 do 902):

```
GDY ROZP_OSTATECZ_1 = '44Ø' I ,77Ø
1Ø1' < = DATA_PRZYJĘCIA < '78Ø1Ø1'
1 '9Ø 1< = RØDZ_OPERACJI_1 < = '9Ø9,
WYKONAJ;
DRUKUJ;
```

Maszyna po chwili odpowiada: „TAKICH DOKUMENTÓW JEST NIE WIĘCEJ NIŻ 75". To dobrze: można sobie pozwolić na obejrzenie całej listy na ekranie monitora. Jednocześnie drukarka przygotowuje ten sam materiał w postaci pisanej. Teraz możemy zapytać o coś innego. Powiedzmy: o chorych, którzy przeszli operację polegającą na wszczepieniu protezy naczyniowej (numery 901 i 902). Dodatkową informacją byłyby daty urodzenia, ilość dotychczasowych kuracji w tym szpitalu oraz adresy z kodem pocztowym:

```
POD NR_KSIEGI_GLOWNY DATA_URO-
DZENIA NUMER_POBYTU KOD_POCZTO-
WY MIEJSCOWOSC ADRES_CHOREGO
ODZIAL SZPITALA GDLY '9Ø1 = <RO_
DZ_OPERACJI_1< = '9Ø2'
```

WYKONAJ;
DRUKUJ;
Bezpośrednia rozmowa z komputerem jest, zwłaszcza dla osób stykających się z maszyną po raz pierwszy, dużym zaskoczeniem; znacznie większe zdumienie wywołują w nas jednak próby takich kontaktów ze zwierzętami. Toteż niemałą rewelacją były udane amerykańskie próby nauczenia małp języka głuchoniemych (American Sign Language System). Przypomnijmy, że oprócz języków mówionych i pisanych jest wiele innych sposobów porozumiewania się, np. za pośrednictwem znaków: jak choćby „gwizdany" język z Wysp Kanaryjskich, system Braille'a, mowa delfinów bądź taniec pszczół, gdy przekazują sobie informacje złożonym zestawem ruchów. Szympansica Washoe, która przy pomocy A. i B. Gardnerów opanowała 150 znaków tego języka, staje pewnego dnia przed lustrem i mówi o swoim odbiciu: „To ja, Washoe". Z miejsca wywołuje to rewolucję intelektualną. Wielu badaczy przyznaje się, że fakt ten zmienia ich poglądy na świat. Być może bowiem człowiek nie jest aż tak niepowtarzalnym zjawiskiem, jak to sobie chętnie wyobraża.

Przy okazji tych eksperymentów okazuje się, że wiele problemów powstających przy kontaktach ze zwierzętami i maszynami jest po prostu identycznych. Tu i tam pojawiają się te same trudności lingwistyczne, zagadnienia związane z rozpoznawaniem obrazów (np. prostych rysunków geometrycznych), czy też kwestia „reprezentacji wiedzy". Przykładem jest choćby niejednoznaczność znaków — słowa „czysty" używa Washoe na określenie sytuacji, gdy się myje, gdy jest myta, gdy inna małpa się myje lub myje inny obiekt, a także na określenie mydła.

Jakże składnie i mądrze w porównaniu z kon-

wersacją człowiek—zwierzę przebiegają ludzkie dialogi z maszynami. Mimo to jednak przesadą byłoby traktowanie powyższych dialogów jako przejawu „komputerowej inteligencji". Maszyna po prostu zapamiętuje informacje i następnie na żądanie odtwarza je w wymaganej konfiguracji.

Przykłady te świadczą mimo wszystko o zaawansowanej metodzie konwersacji z komputerem i o coraz większym oswajaniu się użytkowników z pozornie inteligentną maszyną. Może to mieć istotne znaczenie wówczas, gdy pojawiają się urządzenia w pełni godne tej nazwy.

„Jest tylko jedno zastosowanie konwersacyjnych komputerów — stwierdza W. D. Ors — a jest nim to wszystko, co się robi w ciągu normalnego dnia pracy". Na razie daleko jesteśmy od „jednego zastosowania" — mamy natomiast dziesiątki rozwiązań szczegółowych. Ale może właśnie tędy prowadzi droga najsłuszniejsza. „Po skonstruowaniu specjalizowanego sztucznego rozumu można się będzie pokusić o skonkretyzowanie metodyki budowy ogólnego sztucznego rozumu, tzn. aparatu porównywalnego pod względem intelektualnym z człowiekiem" — twierdzą L. Kuzin i A. Prieobrażeński. [1]

Z rozwojem sztucznej inteligencji najwięcej nadziei wiąże robotyka. Pod pretekstem tej wzmianki nie wypada tu szerzej omawiać tej interesującej dziedziny, przypomnijmy więc tylko, jak wielkie postępy odnotowuje się w latach ostatnich na tym polu. Pierwszy robot przemysłowy w zakładach Forda uruchomiono przecież nie tak dawno, bo w roku 1962, a w dziesięć lat potem w samej Japonii wytwarza-

[1] L. T. Kuzin, A. B. Prieobrażeński, *Sztuczna inteligencja*, „Problemy" 1974.

niem robotów zajmowało się około trzydziestu przedsiębiorstw.

Filmik reklamowy wyprodukowany przez jedno z nich lansuje hasło: „Dzięki naszym robotom praca może być wykonywana ciągle, bez przerw na kawę lub drugie śniadanie”. Potem idą sekwencje uwijających się jak mrówki robotów i zdjęcie człowieka, który pojawi się tylko po to, by sprzątnąć opiłki. Na ubiegłorocznych Targach Poznańskich mogliśmy oglądać takiego robota malującego krzesło.

Zespalanie się maszyny z człowiekiem — — nie tylko intelektualne, lecz niemal fizyczne — stanowi przedmiot zainteresowania „futurolgów”, ale także badaczy z poważnym dorobkiem naukowym. W jednym z raportów Rand Corporation większość naukowców opowiada się za tezą, że najbliższe stulecie przyniesie swego rodzaju symbiozę człowieka i maszyny. Sytuacja taka może doprowadzić do nader ciekawych zmian — czyżby również w strukturze społecznej? — jeśli zwłaszcza ułatwiony będzie dostęp do tanich urządzeń.

Elektronika na domowy użytek pasjonuje liczne rzesze majsterkowiczów. Hobbyści w okresie międzywojennym budowali z zapałem odbiorniki radiowe, hobbyści współcześni z nie mniejszym zapałem oddają się „kuchennej automatyce”. Wiele konstrukcji cybernetycznych, mających związek ze sztuczną inteligencją, znalazło dziesiątki replik w prywatnych pracowniach. W Stanach Zjednoczonych powstało w roku 1966 — na wzór stowarzyszeń radioamatorów — Amateur Computer Society, liczące w 1970 r. 280, a obecnie blisko tysiąc członków. Do ACS ma prawo należeć każdy miłośnik elektroniki, który opłaci trzyletnią składkę w wysokości 5 dolarów; w zamian otrzymuje publikacje ACS.

Amatorzy, zrzeszeni i nie zrzeszeni, bardzo

sobie chwalą miniaturyzację obwodów scalonych i ich modularność. Mogą z nich składać — jak z klocków — skomplikowane zestawy. Istnieją nawet sklepy sprzedające części do komputerów: na stojakach wiszą tam w przezroczystych torebkach mikroprocesory, bloki pamięci, układy sterowania itp. „Nie wiem, skąd się we mnie wzięło to pragnienie, ale zawsze mi ono towarzyszyło" — mówi o swoich elektronicznych zamiłowaniach czternastoletni Tod Loofbourrow, członek Amateur Computer Group z New Jersey, sfotografowany na tle maszyny, którą sam zbudował.

Dziś nikt nie stawia pytań: „Po co nam w gruncie rzeczy te inteligentne maszyny?". Nikt nie atakuje badaczy, żądając od nich wyjaśnień: „Właściwie kto daje wam pieniądze na tę zabawę?" D. Macdonald w roku 1950 podając w wątpliwość sens tworzenia sztucznej inteligencji mówił z ironią: „Można również zbudować maszynę do palenia tytoniu, ale nie służyłaby ona żadnemu użytecznemu celowi". Ironia okazała się podwójna, bo maszyny takie powstały i pomagają w badaniach medycznych nad skutkami palenia.

Maszyny, dorównujące człowiekowi poziomem intelektu, zaludniają kartki powieści science-fiction. W *„The Last Question"* Isaac Asimov opisuje historię komputera, który osiąga coraz wyższe stadia rozwoju i w końcu staje się... bogiem. Podziwiano siłę pisarskiej wyobraźni, książka zdobyła rozgłos w roku 1956. A w dwadzieścia lat później Asimov wyznał: „Tak naprawdę nigdy w to nie wierzyłem. Nie sądziłem, że stworzenie sztucznej inteligencji będzie kiedykolwiek możliwe i że ludzie na serio zabiorą się do pracy w tej dziedzinie jeszcze za mojego życia. Uważałem się za odległego od rzeczywistości marzyciela, wymyślającego rozmaite bajki, żeby zarobić na

chleb. [...] Teraz więc jestem tak zdumiony, jak tylko może być zdziwiony oszust, którego kłamstwa niespodziewanie się sprawdziły. Wielkie Nieba, czyż ludzie rzeczywiście potrafią to zrobić? Jakże jest to ekscytujące i jak ostrożni musimy być w przewidywaniu konsekwencji tych eksperymentów". [1]

---

[1] J. Asimov, [przedmowa do:] F. H. George, J. D. Humphries (red.) *Robots Are Coming*, cyt. wyd.

SPIS TREŚCI

„OMEGA" 1978

Ukazały się m.in.:

331. R. Bielecki *Co to jest gaullizm?*
332. A. Adamczyk *Niezwykły stan materii — ciekłe kryształy*
333. M. Czerwiński *Profile kultury*
334. Z. Polański *Współczesne metody badań doświadczalnych*
335. Rozród ssaków t. 1. *Komórki płciowe i zapłodnienie.* Praca zbiorowa
336. Rozród ssaków t. 2. *Zarodek, płód, poród.* Praca zbiorowa
337. Rozród ssaków t. 3. *Hormonalna kontrola rozrodu.* Praca zbiorowa
341. H. Knorre *Podróż w świat transuranowców*

„OMEGA" 1979

Ukazały się:

342. Z. Podgórzec *Życie teatralne Moskwy*
343. M. Dobroczyński, J. Stefanowicz, A. Wasilkowski *Polska w świecie współczesnym*
344. R. Gryglewski, A. Szczeklik *Sercu na ratunek*
345. L. Falandysz *Wiktymologia*
237. K. Ochocki *Spory o pojęcie materii,* wyd. II

W przygotowaniu:

S. Z. Różycki *Geolog detektywem*
J. Kozielecki *Nauka i osobowość*
Rozród ssaków t. 4. *Biologia rozrodu.* Praca zbiorowa
Rozród ssaków t. 5. *Sztuczna kontrola rozrodu.* Praca zbiorowa

CENA ZŁ 20,—

NASTĘPNA POZYCJA „OMEGI"

S. Klonowicz

Oblicza starości

Wobec nieubłaganego pochodu zarówno starzenia się osobniczego, jak i starzenia się ludności, nikt nie może pozostać obojętny. Starzenie się i starość nie są już w naszych czasach sprawą wyłącznie osobistą, ponieważ obejmują setki milionów osób. Urosły do rangi jednego z kluczowych problemów. Od sposobu ich rozwiązania w znacznym stopniu zależy nie tylko społeczno-ekonomiczna, lecz również moralno-etyczna przyszłość ludzkości. Książka podejmuje rozważania na ten temat z demograficznego punktu widzenia.

ISBN 83-214-0086-8